

Univerzita Karlova v Praze
Pedagogická fakulta
Katedra chemie a didaktiky chemie

RIGORÓZNÍ PRÁCE

Využití eye-trackingu k analýze strategií volených žáky při řešení problémových
úloh z chemie

The Use of Eye-tracking for Analysing the Strategies Students Use when
Solving Chemistry Problem Tasks

Mgr. Martina Tóthová

Vedoucí práce: PhDr. Martin Rusek, Ph.D.
Studijní program: Didaktika chemie (P0111D300003)
Studijní obor: XDCH8 (0111VD300003)

2019

Univerzita Karlova v Praze
Pedagogická fakulta
Katedra chemie a didaktiky chemie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Využití eye-trackingu k analýze strategií volených žáky při řešení problémových
úloh z chemie

The Use of Eye-tracking for Analysing the Strategies Students Use when
Solving Chemistry Problem Tasks

Bc. Martina Tóthová

Vedoucí práce: PhDr. Martin Rusek, Ph.D.
Studijní program: Učitelství pro střední školy (N7504)
Studijní obor: N BI-CH (7504T214, 7504T220)

2019

Odevzdáním této diplomové práce na téma *Využití eye-trackingu k analýze strategií volených žáky při řešení problémových úloh z chemie* potvrzuji, že jsem ji vypracovala pod vedením vedoucího práce samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury. Dále potvrzuji, že tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

V Praze dne 17. 4. 2019

Děkuji vedoucímu práce, PhDr. Martinu Ruskovi, PhD., za trpělivost a cenné rady při návrhu výzkumu, i samotném psaní práce a zajištění vypůjčení zařízení. Zároveň děkuji všem respondentům, kteří se výzkumu účastnili.

ABSTRAKT

V práci jsou prezentovány výsledky výzkumu zaměřeného na sledování strategií využívaných žáky při řešení problémových úloh, který navazuje na předchozí studie prováděné metodou think-aloud. Vzhledem k limitům této metody je ke zjišťování strategií použita oční kamera, jejíž záznam je využit nejen při analýze postupu žáků, ale také jako prostředek vedoucí k odstranění jednoho z limitů RTA – nepřesnosti z důvodu zapomínání. Strategie byly zjišťovány u žáků prvního ročníku ekonomického lycea při řešení indikátorových úloh vybraných z Metodických komentářů a úloh ke Standardům základního vzdělávání – chemie. Výzkumný vzorek byl vybírán na základě pretestu sestaveného z těchto úloh. Dle výsledků byli žáci rozděleni do čtyř kategorií, z každé z nich byli vybráni dva žáci. Tito žáci následně řešili druhou sadu úloh. Na základě údajů z eye-trackingu a think-aloud byly u těchto žáků kromě aplikovaných strategií mapovány správné postupy a eliminovány falešně pozitivní výsledky. Výzkum ukazuje, že žáci používali nejvíce podporujících strategií, převážně práci s tabulkou. Tyto strategie ve většině případů však nevedly k řešení, a to z důvodu problémů, se kterými se žáci potýkali. Následně se žáci uchýlovali k limitujícím strategiím, které ovlivňovaly jejich odpovědi.

KLÍČOVÁ SLOVA

Strategie řešení problémů, Eye-tracking, metoda Think-aloud, problémové úlohy, výuka chemie

ABSTRACT

In the thesis, results of a research focused on monitoring strategies used by students during problem solving are presented. It follows previous studies conducted with the use of think-aloud method. Due to limitations of this method, an eye-camera is used. The record of the camera is used not only to analyse student's problem-solving process, but also as a tool eliminating one of the RTA limits – inaccuracies due to forgetting. The strategies were investigated among economics-oriented vocational school students in the first grade. They solved indicator tasks from the Methodical Comments and Tasks for Educational Standards in Lower-Secondary Education. The research sample was selected based on a pre-test composed of the selected tasks. According to the results, the students were divided into four categories, two students of each category were selected for the research. They solved a second set of the tasks. Based on eye-tracking and think-aloud data, their problem-solving processes were mapped and false-positive results were eliminated. The research results show that the students used the most expansive strategies, mainly work with the periodical table. However, in most cases, these strategies did not lead to a correct solution, due to the students' problems during solving. In these cases, they used limiting strategies in the end, which influenced their answers.

KEYWORDS

Problem-solving strategies, Eye-tracking, The Think-aloud method, Problem-solving tasks, Chemistry education

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod..... | 8 |
| 1 Teoretická východiska..... | 10 |
| 1.1 Problémové vyučování..... | 10 |
| 1.1.1 Didaktický problém a problémová situace..... | 11 |
| 1.1.2 Vymezení a klasifikace problémových úloh..... | 12 |
| 1.1.3 Průběh řešení problémových úloh..... | 15 |
| 1.1.4 Strategie využívané při řešení problémových úloh..... | 17 |
| 1.2 Sledování strategií používaných žáky při řešení problémových úloh..... | 21 |
| 1.2.1 Eye-tracking..... | 23 |
| 1.2.2 Historie eye-trackingu..... | 26 |
| 1.2.3 Vizualizace dat eye-trackingu..... | 29 |
| 1.2.4 Eye-tracking a jeho využití v didaktickém výzkumu..... | 31 |
| 2 Cíle práce..... | 34 |
| 2.1 Výzkumné otázky..... | 35 |
| 2.2 Hypotézy..... | 35 |
| 3 Metodologie výzkumu..... | 36 |
| 3.1 Design výzkumu..... | 36 |
| 3.2 Použité výzkumné metody..... | 36 |
| 3.3 Výběr respondentů..... | 37 |
| 3.4 Výběr úloh a jejich hodnocení..... | 38 |
| 3.4.1 Pretest..... | 38 |
| 3.4.2 Výzkumné měření..... | 41 |
| 3.5 Použitý přístroj a podmínky ke snímání a zaznamenávání pohybu očí..... | 45 |
| 3.6 Průběh měření..... | 46 |
| 3.7 Analýza měření..... | 46 |
| 3.7.1 Analýza TA..... | 46 |
| 3.7.2 Analýza ET..... | 47 |
| 3.8 Výsledky žáků v testech..... | 47 |
| 3.8.1 Vybraný vzorek žáků..... | 47 |
| 3.8.2 Pretest..... | 48 |
| 3.8.3 Výzkumné měření..... | 49 |
| 3.8.4 Porovnání výsledků žáků v pretestu a výzkumném měření..... | 50 |
| 3.9 Používané strategie (analýza RTA)..... | 51 |
| 3.10 Kvalitativní popis řešení úloh žáky na základě propojení <i>eye-trackingu</i> a RTA..... | 54 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.10.1 | Žák Ax | 54 |
| 3.10.2 | Žákyně Ag | 57 |
| 3.10.3 | Žákyně An | 61 |
| 3.10.4 | Žák F | 64 |
| 3.10.5 | Žák J | 68 |
| 3.10.6 | Žák M | 70 |
| 3.10.7 | Žák O | 75 |
| 3.10.8 | Žákyně T | 79 |
| 3.10.9 | Souhrn výsledků | 82 |
| 4 | Diskuze výsledků | 87 |
| | Závěr..... | 90 |
| | Seznam použitých informačních zdrojů | 91 |

Úvod

Situace, které jsou pro nás nové a nedokážeme okamžitě rozpoznat jejich nejlepší řešení, nás v životě běžně obklopují. Řešení problémů je aktuálním tématem i ve vzdělávání. Schopnost řešení problémů vnímá jako klíčovou také organizace OECD (Blažek, 2017).

Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání (RVP ZV) mezi cíli, které by mělo základní vzdělání naplňovat, uvádí mimo jiné tvořivé myšlení, logické uvažování a řešení problémů. Řešení problémů je zároveň jednou z klíčových kompetencí, přičemž RVP pojednává o tom, že žák by měl být schopen řešit problémové situace ve škole i mimo ni, měl by je být schopen řešit samostatně a užívat logické postupy, které jsou aplikovatelné i na nové situace (RVP ZV, 2017).

Na situace z běžného života, které nejsou zasazeny pouze do jednoho oboru, ale vystavují nás použití kombinací různých znalostí a dovedností škola zatím žáky nepřipravuje. Důvody jsou spatřovány v nedostatku metodických materiálů, které by pomohly propojit diskuze o tomto rozvoji se vzdělávací praxí (Tomášek & Potužníková, 2004). V této oblasti mohou pomoci uvolněné úlohy vztahující se k řešení problémů vytvořené pro testování PISA 2003 (Tomášek & Potužníková, 2004), PISA 2012 (Palečková, Tomášek & Blažek, 2014) či PISA 2015 (Blažek, 2017), případně úlohy s problémovými prvky, které doprovází Standardy pro základní vzdělávání a jsou využity v této práci (viz Holec & Rusek, 2016).

Schopnost žáků řešit problémy byla zjišťována například mezinárodním výzkumem PISA, ve kterém čeští žáci vychází ve schopnostech řešit problémy z reálného života ve světovém měřítku jako průměrní (Blažek & Boudová, 2016; Blažek & Příhodová, 2016; Palečková, Tomášek, & Blažek, 2014).

Při osvojování schopnosti žáků řešit problémy se musí jejich dovednosti zlepšovat postupnými kroky, od známého prostředí a podmínek k neznámému a složitějšímu systému (Johnstone, 2001; Palečková, Tomášek, & Blažek, 2014). Důležitým bodem pro další práci se žáky je právě zjištění jejich schopnosti řešit problémy. Které strategie žáci využívají? Co vede k jejich úspěchu či neúspěchu? Klasické testování podává informace o znalostech žáků, nepodává však informace o jejich myšlenkových pochodech (Tai, Loehr, & Brigham, 2006). Pro zjištění přesnějších informací o schopnosti žáků řešit problémové úlohy byla v diplomové práci využita metoda *eye-trackingu* (záznamu pohybu očí), doplněná o metodu myšlení nahlas (*think-aloud*). Těmito metodami byly žákovské strategie sledovány při řešení problémových

úloh. Kombinací metod je možné získat komplexní informace o žákově postupu při řešení problémů a určit tak příčiny jejich úspěchu či neúspěchu.

Výsledky zjištěné ve výzkumné části této práce budou použity k návrhu postupu rozvoje schopnosti žáků řešit problémy.

1 Teoretická východiska

1.1 Problémové vyučování

Výuka řešením problémů patří mezi metody podporující angažování žáků ve výuce, tzv. aktivizující metody (viz Maňák & Švec, 2003). Do problémového vyučování jsou zařazovány problémové úlohy a prostřednictvím jejich objasňování si žáci osvojují nové poznatky (Machmutov, 1975). Běžně je ve výuce fyziky a chemie kladen důraz na teoretické znalosti, které jsou v jednoduchých cvičeních aplikovány (Pérez & Torregrosa, 1983). Problémové vyučování dává žákům příležitost klást své vlastní otázky a hledat na ně odpovědi (Goffin & Tull, 1985). Základní znaky problémového vyučování shrnuje Barrows (1996) takto:

- Výuka je zaměřena na žáka

Žák přebírá zodpovědnost za své vlastní učení, identifikuje sám, co potřebuje, aby problém lépe pochopil, vyhledává zdroje.

- Výuka probíhá v malých skupinách

Jejich složení je vhodné měnit.

- Učitelé jsou průvodci

Učitel nediktuje žákům, co konkrétně si mají nastudovat, kde mají informace hledat, ale snaží se ptát na otázky, které by si měli zodpovědět, aby dokázali problém lépe vyřešit¹.

- Problémy vytváří podněty k učení
- Problémy fungují stejně jako v reálném životě

Žákům jsou poskytnuty veškeré zdroje, které by mohli mít mimo školu dostupné tak, aby byli schopni problém vyřešit.

- Nové informace získávají žáci pomocí vlastního objevování

Žáci mezi sebou srovnávají, diskutují a hodnotí, co se naučili.

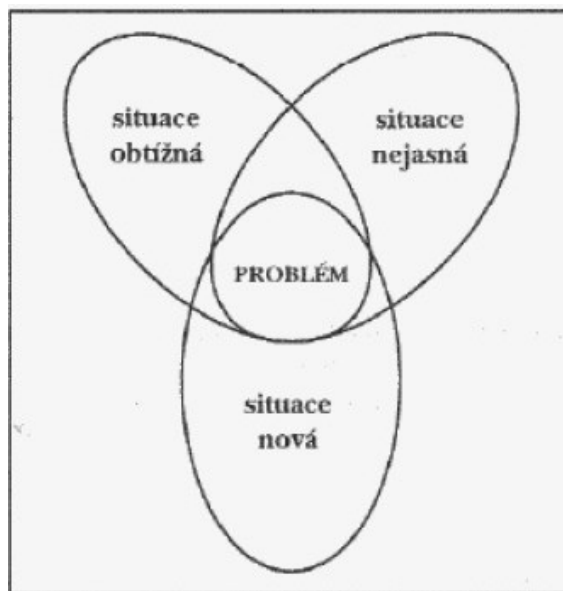
¹ McMaster dříve propagoval koncept „neodborného učitele“, což znamenalo, že by učitelé byli nápomocni ve výuce předmětů mimo svůj obor. Dnes se však odborníci shodují na tom, že nejlepšími průvodci jsou učitelé v jimi vystudovaných oborech či předmětech.

Významnou osobností problémového vyučování byl John Dewey, který již na počátku 20. století kritizoval nedostatky tehdejšího pojetí výuky. V praktikovaném vyučování viděl intelektuální výcvik, u kterého převládá pouze přejímání hotových vědomostí. Tato separace od běžného života podle něj vytvořila propast mezi školou a životem. Dewey chtěl, aby škola byla těsně spjatá s běžným životem žáka, a tak položil základy problémové výuce (Skalková, 2007). Problém a problémová úloha jsou definovány v následující podkapitole.

1.1.1 Didaktický problém a problémová situace

Problémy člověk řeší neustále. V životě se setkáváme s různými problémy spojenými s fázemi orientačními, rozhodovacími nebo výkonnými (viz Popper in Maňák a Švec, 2003). Ve výuce se dá problém charakterizovat jako specifická úloha (situace), kterou žák nedokáže řešit pouze na základě aktuálních vědomostí (Zormanová, 2012).

Odlišnost mezi problémem a problémovou situací definují Dostál a Gregar (2015). Ti shledávají rozdíl právě ve vnímání problému. Problémová situace žáka bezprostředně obklopuje, žák se v ní cítí v rozpacích, musí se nové situaci přizpůsobit a vytvářet nové způsoby chování. Ve chvíli, kdy si situaci uvědomí, začíná uvažovat, jak ji vyřešit. Každý problém je tedy uveden problémovou situací. Problémová situace se však ne vždy přemění v problém. Závisí to na jedinci, který problém vnímá. Ve chvíli, kdy dokáže definovat obtíž, zdroj rozporu, jež vyvolal danou situaci, se žák zabývá problémem. V jiném případě může být



Obrázek 1 Znáznornění problému dle Koziellecki, cit. dle Maňáka a Švece (2003)

žák součástí problémové situace, ale nedokáže určit, jaká překážka vyvolává rozpor, a tím pádem ji nemůže ani odstranit. Problém je tak onou motivační silou, jež vede žáka k řešení. Skalková (2007) definuje problém jako obtíž, která vykazuje teoretickou či praktickou povahu, při jejímž řešení používá žák vlastní poznávací činnost. Snaží se obtíž překonat, čímž získává nové poznání a zkušenosti.

Maňák využívá Kozielleckého pojetí problému, jako průnik situace obtížné, nejasné a nové. K pochopení průniku slouží i nákres onoho autora, viz obrázek 1. Taková situace vyvolává u

žáka pocit obtíže, který se však prolíná se zvědavostí a jejím řešením se žák snaží tyto potřeby uspokojit (Kupisiewicz, 1964), podobně definuje didaktický problém také Okoň (1966).

Tabulka 1 Výhody a nevýhody problémového vyučování, upraveno dle Kilroy (2004)

| Výhody | Nevýhody |
|---|--|
| Pomáhá rozvíjet kompetence k učení | Časová náročnost. |
| Pomáhá rozvíjet interpersonální kompetence: komunikaci, identifikaci hlavního problému, týmovou spolupráci. | Nemusí být vhodnou metodou pro všechna vyučovaná témata. |
| Možnost nárůstu sebedůvěry žáků. | Vyžaduje přístup k literatuře. |

Přes celou řadu výhod problémového vyučování existují témata, pro jejichž výuku nebude problémové vyučování vhodně zvolenou metodou. Výhody i nevýhody problémového vyučování shrnuje tabulka 1 (Kilroy, 2004).

Další porovnání poskytují výsledky výzkumů prováděných na studentech zdravotnických oborů. Studenti vyučovaní metodou problémového vyučování vykazují v praktických zkouškách lepší výsledky než studenti vyučovaní tradiční metodou. Standardizované testy naopak favorizují tradiční pojetí výuky, vzhledem k tomu, že znalosti studentů, kteří prošli problémovou výukou jsou méně obsáhlé. Naproti tomu, studenti vyučovaní problémovou výukou si tyto znalosti déle uchovávají. Další výhodu spatřují autoři v rozdílných postojích k výuce a příjemnějším klimatu ve třídě (Kwan, 2009).

1.1.2 Vymezení a klasifikace problémových úloh

Problémový úkol ukazuje směr řešení a je nějak ohraničený (např. zadanými parametry řešení). To je rozdíl mezi problémem jako takovým a problémovou úlohou. Ve vyučování se žáci nesetkávají přímo s problémy, ale právě s problémovými úkoly (Dostál & Gregar, 2015). Problémová úloha je taková úloha, na jejímž počátku neexistuje zřejmé řešení (Johnstone, 2001; Pérez & Torregrosa, 1983). Pro plnění úkolu potřebuje řešitel tři položky: výchozí informace, požadovaný výsledek a způsob jeho získání. Pokud jedna informace chybí, nastává problém. V tabulce 2 je přehled osmi možných výchozích situací pro úlohy, první z nich není problémem, neboť jsou dostupné kompletní informace pro její vyřešení.

Tabulka 2 Přehled osmi typů úloh dle zadané výchozí situace, přeloženo z Johnstone (2001)

| Typ úlohy | Vstupní informace | Způsob | Cíl |
|-----------|-------------------|---------|---------|
| 1 | Úplné | Známý | Jasný |
| 2 | Úplné | Neznámý | Jasný |
| 3 | Neúplné | Známý | Jasný |
| 4 | Úplné | Známý | Nejasný |
| 5 | Neúplné | Neznámý | Jasný |
| 6 | Úplné | Neznámý | Nejasný |
| 7 | Neúplné | Známý | Nejasný |
| 8 | Neúplné | Neznámý | Nejasný |

Přestože první typ úlohy obsahuje veškerá potřebná data k vyřešení, řešitelé dobře znají způsob řešení a cíl je přesně stanovený, se běžně taková úloha nazývá problémovou. Ve výuce chemie je to typické např. v oblasti fyzikální chemie nebo návodů na přípravu látek v laboratoři. Používané úlohy mají vstupní informace kompletně dostupné v zadání, k jejich splnění je potřeba přesných kroků a známých způsobů (např. matematických) (Johnstone, 2001). K vyřešení problémové úlohy je nutná schopnost řešitele využívat kognitivní procesy k řešení reálných situací, které nejsou vázány pouze na jeden předmět. V těchto situacích není okamžitě jasný způsob řešení (Tomášek & Potužníková, 2004). Avšak k tomu, aby žáci mohli rozvíjet svou schopnost řešit problémy, musí nejdříve věřit, že standardizované a mechanické postupy nebudou pro vyřešení těchto výzev vždy stačit (Ogilvie, 2009). Úlohy lze kategorizovat podle různých kritérií. Tabulka 3 ukazuje dělení dle podobných znaků úloh.

Tabulka 3 Rozdělení problémových úloh

| Kritérium | Dělení | Popis | Poznámka | Děleno dle |
|---------------|----------------------------------|--|--|--|
| Určitost | Určité problémové situace | <ul style="list-style-type: none"> • Zřejmé všechny potřebné informace, • nejsou přítomny nepotřebné údaje, • problém je zřetelný. | Často využíván ve školním vzdělávání (Berliner & Calfee, 2013). | Dostál a Gregar (2015) |
| | Neurčité problémové situace | <ul style="list-style-type: none"> • Informace musí řešitel teprve získat, • není zřejmé, jaké informace budou potřeba, • není zcela zřetelný problém (potřeba identifikace). | Tyto problémové situace mohou být také označovány jako netransparentní (Blech & Funke, 2010). | |
| Statičnost | Statické problémové situace | <ul style="list-style-type: none"> • Podmínky jsou stabilní, • nedochází ke změnám. | | Blech a Funke (2010); (Wirth & Klieme, 2003) |
| | Dynamické problémové situace | <ul style="list-style-type: none"> • Podmínky se mění působením vlivů, které jedinec nemůže ovlivňovat, • nutnost zohledňování jednotlivých vlivů na řešení problémů. | Nemusí být vnímány jako negativum (dříve neřešitelný problém se takto může stát řešitelným) (Dostál & Gregar, 2015). | |
| Způsob řešení | Algoritmické | <ul style="list-style-type: none"> • Přesný, určitý sled operací, • při dodržení sledu kroků zajišťuje nalezení řešení, • učení probíhá bez zbytečných omylů. | Pro sled kroků v postupu se používá termín „výukový algoritmus“ (Landa, 1975) | Skalková (2007) |
| | Heuristické | <ul style="list-style-type: none"> • Podněcuje motivaci, • neurčitost výchozí situace, • osobitost v utváření plánu řešení problému. | | |
| | Řešené pomocí intuice | <ul style="list-style-type: none"> • Bezprostřední poznání, • nepostupuje se v přesných krocích, • vniknutí do celého systému najednou, • rychlé hypotézy, • předpokládá dobrou znalost látky a její struktury. | Intuice má velký význam ve vědeckém objevování (Bruner, 1965). | |
| Typ problému | Rozhodování | <ul style="list-style-type: none"> • Vyžadují porozumění zadání, určení možností a omezujících podmínek. | Výčet hlavních tří typů problémů, vybíraných pro výzkumy PISA. | Tomášek a Potužníková (2004) |
| | Systémová analýza a projektování | <ul style="list-style-type: none"> • Navržení systému, který obsahuje složité vztahy proměnných. | | |
| | Odstraňování chyb | <ul style="list-style-type: none"> • Vyžadují pochopení principu fungování systému, • vytvoření odpovídajícího znázornění. | | |

1.1.3 Průběh řešení problémových úloh

Řešení problému charakterizoval již John Dewey, který shrnul fáze řešení problémové situace na základě své vlastní činnosti:

I. Pocit obtíží.

Pocit obtíže uvádí problémovou situaci. V důsledku tohoto pocitu se žáci snaží tyto nesnáze vyřešit.

II. Určení hranic problému, jeho vyjasňování.

Z předchozího stavu poznání se již vyvíjí skutečný problém. V tomto bodě se žáci snaží vyjasnit podstatu problému.

III. Představa o možném řešení.

Nejdůležitější etapa řešení. Je to přechod od toho, co je dáno, k tomu, co není. Vzniká tak představa o možném řešení. Žáci navrhuji jeho způsoby.

IV. Formulace hypotéz a jejich ověření.

Žáci uvažují o vztazích týkajících se problému, rozvíjejí hypotézy, diskutují a hledají odpovědi. V závěru formulují jednu nebo více hypotéz, které posléze ověřují.

V. Verifikace hypotéz.

Prostřednictvím dalšího pozorování vyřčenou hypotézu uznají nebo naopak zavrhnou (Skalková, 2007).

Porovnání se zde nabízí i se základními kroky dle Polyi (2004):

1. Porozumění problému
2. Vytvoření plánu jeho řešení
3. Realizace plánu řešení
4. Ohlédnutí se za výsledkem a jeho diskuze

Polya zmiňuje i možnost přeskočení některých fází. Žáci mohou dostat nápad, jak úlohu okamžitě vyřešit.

Dalším modelem obecného postupu řešení problémů je i model IDEAL (akronym pojmenování jednotlivých kroků), jehož autory jsou Bransford a Stein (1993).

I = *Identify problems and opportunities*: První bod modelu hovoří o identifikování potencionálního problému. K problému bychom se měli postavit jako ke příležitosti jej vyřešit.

D = *Define goals*: Definování cílů. Při něm se již ukazuje, jak je problém pochopen, na rozdíl od jeho pouhé identifikace.

E = *Explore possible strategies*: Objevování přístupů k řešení problémů. U tohoto bodu je často nutné znovu zanalyzovat cíle a soustředit se na možné strategie, jak jich dosáhnout.

A = *Anticipate outcomes and Act*: Promyšlení zvolení dané strategie a jejich výsledků je neméně důležitá část modelu IDEAL. Po promyšlení jejich dopadů je součástí čtvrtého bodu také využití dané vybrané strategie.

L = *Look back and Learn*: Ohlédnutí za výsledkem postupu a učení se z této zkušenosti. Přírozená reakce na neúspěch v řešení problému může být špatný pocit a snaha vypustit tuto zkušenost z hlavy. Důležité pro další rozvoj však je, že neúspěch může být výborným učitelem, proto bychom nad situací měli přemýšlet, jak bychom ji udělali lépe a poučit se z ní.

Havlíčková (2015) zmiňuje univerzální heuristický postup, jenž zpracoval Zelina. Používá akronym DITOR:

D = Definuj problém: V počátku obecného postupu se objevuje snaha orientovat se v daném prostředí a vybrat z něj problém.

I = Informuj se: Pro řešení problému je potřeba shromáždit veškeré dostupné informace, které bychom k jeho řešení mohli potřebovat.

T = Tvoř řešení: Tvorba řešení představuje kreativní práci žáků, jež k jeho dosažení využívají různé strategie (přehled nejčastěji využívaných strategií při řešení problémových úloh z chemie je v následující podkapitole).

O = Ohodnot' řešení: Cílem předposlední fáze univerzálního heuristického postupu dle Zeliny je hodnocení řešení, přičemž cílem je posouzení a výběr návrhů. Tyto návrhy jsou hodnoceny z hlediska různých kritérií (čas, podmínky, ...).

R = Realizuj řešení: Závěrečná fáze modelu DITOR zahrnuje aplikaci konkrétních kroků, které jsou nutné pro realizaci řešení problému.

Průběhem řešení problémů se zabýval i Sternberg (2002). Jeho model je také rozdělen do několika fází. První je identifikace problému (řešitel zjišťuje, že situaci nedokáže vyřešit obvyklým způsobem). Pokračuje analýzou problému s vymezením jeho podstaty. Toto je důležitá fáze, neboť člověk musí správně porozumět problému, aby jej byl schopen úspěšně vyřešit. Při tom není důležitá jen forma, ale i jeho obsah. Třetí fází je pak hledání potřebných informací a jejich využití. Čtvrtou fází je volba účinné strategie řešení (Vágnerová, 2017).

Popisům jednotlivých strategií řešení problémů se věnovali také další autoři, tyto konkrétní strategie jsou zmiňovány v podkapitole Strategie využívané při řešení problémových úloh.

Pátým bodem řešení problémů je dle Sternberga kontrola správnosti postupu řešení, která se může skládat z několika kroků. Přizpůsobení se situaci vede k eliminaci neúčinného postupu a změně strategie řešení.

Poslední bod zahrnuje zhodnocení správnosti dosaženého výsledku. Do této fáze může patřit také zobecnění schématu a jeho zahrnutí do zkušeností využívaných v příštím řešení (Vágnerová, 2017).

1.1.4 Strategie využívané při řešení problémových úloh

Běžně užívané způsoby řešení problémů mohou být za podmínek problémových úloh neúčinné. Žáci tak musí hledat jiné metody a k tomu využívají různých strategií (Vágnerová, 2017). Strategie popisované různými autory shrnuje ve své práci zaměřené na problémové úlohy v chemii Koreneková (2018). Tyto strategie rozšířila dle výsledků výzkumu o další, jež žáci využívají při řešení úloh z chemie. Strategie jsou roztrženy do skupin *podporující* (Tab. 4) (též expanzivní nebo rozšiřující dle Ogilvie (2009)) a *limitující* (Tab. 5). Jelikož jsou využívané strategie blíže popsány samotnými autory a strategie využívané v oblasti přírodních věd jsou shrnuty Korenekovou (2018), je v tomto textu představen jen jejich přehled a základní rozdělení. To tvoří teoretický rámec pro kódování pozorovaných strategií v empirické části této práce.

Z čtenářských strategií (Tab. 6) jsou vzhledem k možnostem výzkumu vybrány pouze strategie, které jsou rozpoznatelné na *eye-trackingovém* záznamu. Pro oborové zařazení problémových úloh jsou navíc z čtenářských strategií vybrány pouze makrostrategie, které vedou k pochopení textu jako celku. Čtenář pomocí těchto strategií najde hlavní myšlenku a jádro sdělení (Najvarová, 2010).

Tabulka 3 Podporující strategie řešení problémových úloh

| Strategie | Popis | | Autor |
|---------------------------------------|-------------------------|---|---|
| Podporující strategie řešení problémů | Analogie | Uplatnění známého postupu z dříve řešených problémů | Dhillon (1998); Sternberg (2002); Vacínová a Langová (2005) |
| | | Řešení jednoduššího, ekvivalentního problému, tak je problém snazší k řešení | Posamentier a Krulik (2008) |
| | | Vyhledání vzoru – principu fungování | (Posamentier & Krulik, 2008) |
| | Analýza | Posouzení rozdílu mezi výchozím a cílovým stavem problému sloužící k výběru vhodného postupu. | Vacínová a Langová (2005) |
| | | Analýza navržených způsobů řešení. | Dhillon (1998) |
| | Rozložení problému | Kombinací dílčích řešení vzniká celkové řešení problému | Dhillon (1998); Matlin (2005) |
| | Intuitivní strategie | Předpovídání možných výsledků, hledání zkušebních řešení, různých cest | Dhillon (1998); Sternberg (2002); Vacínová a Langová (2005) |
| | Pokus omyl | Systematické i nesystematické experimentování | Dhillon (1998); Kopka (2013); Sternberg (2002); Vacínová a Langová (2005) |
| | Pokus, ověření, korekce | Testování odhadu a jeho následná úprava. | (Kopka, 2013; Posamentier & Krulik, 2008) |
| | Sebereflexe | Žák nalezne vlastní chybu a pracuje s ní | Dewey in Skalková (2007) |
| | Uspořádání dat | Uspořádání formou tabulky, seznamu, předchází analýze dat | Posamentier a Krulik (2008) |
| | Grafické znázornění | Tvorba nákresu, náčrtku, schématu | Kopka (2013); Posamentier a Krulik (2008) |

| | | | |
|--|----------------------------------|---|---|
| | | Používání různých barev ² | Engel (1998) |
| | Cesta vpřed | Řetězení, postupná cesta z výchozího stavu k cíli | Dhillon (1998) |
| | Cesta zpět | Řešení od konce, použití inverzních operací | Dhillon (1998); Kopka (2013); Posamentier a Krulik (2008) |
| | Restrukturace problému | Zkoumání problému z jiného úhlu pohledu | Posamentier a Krulik (2008) |
| | | Přeformulování problému | Kopka (2013) |
| | | Vhled – náhlé uvědomění si řešení, aha zážitek | Vacínová a Langová (2005) Köhler (in Vágnerová, 20017) |
| | Vypuštění některých částí zadání | Ignorování drobných detailů | Dhillon (1998) |
| | | Ignorování podmínek ³ | Kopka (2013) |
| | Logické zdůvodňování | Práce s logickým řetězcem závěrů | Posamentier a Krulik (2008) |
| | Simulace akce | Využití modelů, přehrání problému | Posamentier a Krulik (2008) |
| | Kreativní strategie | Kombinace různých strategií | Sternberg (2002) |
| | Pomocný prvek | Přenesení do jednodušší situace ⁴ | Kopka (2013) |

² Coloring proof je popisováno jako strategie v matematice využitelná např. při rozdělování prvků do podmnožin. Některé matematické strategie jsou však využívány i v chemii, např. při vyčíslování rovnic (viz Koreneková, 2018). Proto je tato strategie také zmíněna.

³ Vypuštění podmínky pomůže na začátku úlohy k jejímu zjednodušení, posléze na ně musí být zase myšleno (Eisenmann & Břehovský, 2013).

⁴ Například substituce při chemických výpočtech.

Tabulka 4 Limitující strategie řešení problémových úloh

| | | | |
|--------------------------------------|---|---|-------------------|
| Limitující strategie řešení problémů | Tipování výsledku | Žák výsledek tipuje (bez překontrolování odhadu) | Koreneková (2018) |
| | Prostě si to myslím | Žák k argumentaci využívá intuici – „prostě si to myslím“ | Skalková (2007) |
| | Vyvozování odpovědi ze struktury zadání | Žák se nezabývá obsahem úlohy, ale pouze strukturou jejího zadání | Koreneková (2018) |
| | Rozhodování podle náročnosti postupu | Žák nepodloženě volí snazší postup | Koreneková (2018) |
| | Řešení na základě zapamatování | Žák zvolí výsledek paměťově podložený. | Chupáč (2008) |

Tabulka 5 Čtenářské strategie řešení problémových úloh

| | | | | |
|---------------------|--------------------------|------------------|---|-----------------------------|
| Čtenářské strategie | Dvojnásobné čtení zadání | | | Najvarová (2008) |
| | Vícenásobné čtení zadání | | | |
| | Makrostrategie | Kurzorické čtení | Zběžné čtení celého textu (pro zachycení hlavní myšlenky) | Schnotz in Najvarová (2010) |
| | | Selektivní čtení | Výběrové čtení, čtenář hledá konkrétní informace v textu. | |
| | | Kontrolní čtení | | Schnotz in Najvarová (2010) |

V průběhu řešení úloh se žáci potkávají i s *problémy*. Chupáč (2008) uvádí, že žáci nejsou schopni řešit problémové úlohy kvůli opakování stejných nedostatků. Mezi tyto nedostatky řadí neosvojení přístupu k řešení problémových úloh, nedostatek vědomostí a dovedností, neschopnost vybrat podstatné informace k vyřešení úlohy, neuvažování nad souvislostmi (žáci se naučí obsah učiva pouze mechanicky). Koreneková (2018) ve svém výzkumu zjistila

opakované problémy žáků s nepochopením zadání (jeho poupravení, či špatné pochopení) a se znalostmi.

1.2 Sledování strategií používaných žáky při řešení problémových úloh

Žáci využívají k řešení problémů určité strategie. Jejich přehled byl uveden výše. Jak se dají použité strategie zjišťovat, shrnuje následující část textu.

Testování žáků na národní i mezinárodní úrovni je již tradiční zpětnou vazbou o výsledcích vzdělávacího procesu. Výsledky však ukazují pouze správné a nesprávné odpovědi žáků. I když může být výsledek důležitý, nemusí vždy být dostatečným ukazatelem pro hodnocení kvality výstupu. Tímto způsobem zjišťování znalostí může být ztraceno mnoho informací o myšlenkových procesech žáků. Zvláště pak formativní hodnocení vyžaduje přesnější informace o obtížích žáků.

Pro zachycení mechanismů, jež žáci používají, může být ukazatelem rozbor testů, kdy hodnotitel prozkoumá veškeré záznamy v testech. Tímto způsobem učitel nesleduje pouze zaškrtnutí či zapsání správné odpovědi, ale sleduje i přeškrtnuté odpovědi, změněné odpovědi, poznámky žáků aj. V tomto ohledu však není možné získat doklad o tom, že žák nezážil jiné možnosti odpovědi. Takto se může učitel dozvědět, nad kterými alternativními odpověďmi žák přemýšlel, nezjistí ale, co způsobilo, že žák zvolil jinou variantu a jaké za tímto rozhodnutím stály myšlenkové pochody (Tai, Loehr, & Brigham, 2006).

Kromě rozboru testů existují další možnosti sledování myšlení žáků. Lin, Huan, Chan, Yeh, a Chiu (2004) uvádějí, kromě jiných, možnost rozhovoru a přímého pozorování, metody myšlení nahlas (*think-aloud*), retrospektivní myšlení nahlas (*retrospective think-aloud*) nebo sledování pohybu očí (*eye-tracking*).

Metoda myšlení nahlas neboli *think-aloud* zahrnuje verbalizaci myšlení, a to při čtení, řešení problémů nebo jiných kognitivních úloh (Baumann, Jones, & Seifert-Kessell, 1993; Davey, 1983; Oster, 2001). Jakýsi návod, jak používat *think-aloud*, zasazený přímo do oblasti chemie publikoval Bowen (1994). Metoda je často využívána souběžně s řešením úlohy, tzv. *concurrent think-aloud* (CTA). V této podobě probíhala metoda např. s učiteli chemie v otázce týkající se miskoncepce v tématu rovnováha chemických reakcí (viz Cheung, 2009). Učitelům se věnovali také autoři Shanahan, Shanahan, a Misischia (2011), kteří porovnávali strategie řešení v oblastech historie, chemie a matematiky u odborníků, učitelů připravujících učitele a učitelů učících na středních školách. Strategiemi využívanými žáky při řešení problémových

úloh v chemii se zabývali Gabel, Sherwood, a Enochs (1984), kteří využívali Polyovo schéma řešení problémů. V našich podmínkách se strategiemi řešení problémů zabývala Koreneková (2018), jež zkombinovala strategie využívané napříč obory, využívané strategie následně přiřadila k pasážím v přepsaných *think-aloud* protokolech a obohatila je o strategie žáky využívané, v literatuře však doposud nepopsané.

Metoda *think-aloud* však vykazuje své limity, které jsou popsány více autory. Mnoho lidí považuje myšlení nahlas za obtížné, způsobuje jim tak pocit nepohodlí (Nielsen, 1994). Přemýšlení nahlas může být pojímáno jako nepřiměřený požadavek, jelikož myslíme rychleji, než myšlenky dokážeme verbalizovat (Ericsson & Simon, 1980). Při souběžném řešení problému a jeho popisování uniknou některé informace, jak prokazuje výzkum, který využíval oční kamery zároveň s myšlením nahlas (viz Cooke & Cuddihy, 2005). Výzkumy (Chi, De Leeuw, Chiu, & LaVancher, 1994; Wright & Converse, 1992) také prokázaly, že metoda *think-aloud* může ovlivňovat výsledky řešitelů v porovnání s plněním úloh v tichosti. Řešitelé například mohou postupovat jiným způsobem (Hyrskykari, Ovaska, Majaranta, Räihä, & Lehtinen, 2008). Možnost zmírnit dopad metody na žáka použitím retrospektivního myšlení nahlas (*retrospective think-aloud* neboli RTA), uvádějí Hertzum, Hansen, a Andersen (2009); Tang, Day, Kendhammer, Moore, Brown, a Pienta (2016). Rozdíl je také v kvalitě přijatých dat. Při použití RTA bylo získáno více dat, v komentářích se odrážejí i kognitivní operace. U CTA se jedná spíše o komentáře jednotlivých kroků (Hyrskykari a kol., 2008).

I u retrospektivního *think-aloud* může docházet k nepřesnostem sdělovaných informací (řešitelé mohou na některé informace po dořešení úlohy zapomenout apod.) (Tai a kol., 2006). Proto je metoda *think-aloud* často kombinována s objektivnější metodou – *eye-trackingem* (viz Mason, Tornatora, & Pluchino, 2013; Pienta, 2017; Tsai, Hou, Lai, Liu, & Yang, 2012; Yang, Tsai, Chiou, Lee, Chang, & Chen, 2018). Metoda RTA je v tomto případě využívána tak, že je úloha vizuálně připomenuta, je proto možné se setkat s názvy stimulovaná RTA, retrospektivní testování, zpětné hlášení nebo myšlení poté (*think-after*) či *Post Experience Eye Tracking Protocol* (PEEP). Vizuální připomenutí může obsahovat úlohu, ale také přímo eye-trackingový záznam řešitele, který usnadní vzpomínky na jeho myšlenky během měření (Hyrskykari a kol., 2008).

1.2.1 Eye-tracking

Eye-tracking (ET) je metodou behaviorálního výzkumu, která se nadále rychle rozvíjí (Klimeš, 2002). Metoda je využívána v různých oborech, např. medicíně (Holzman, Proctor, & Hughes, 1973; Litman, Torrey, Hommer, Radant, Pickar, & Weinberger, 1997), psychologii (Mele & Federici, 2012), reklamním odvětví (Wedel & Pieters, 2008), také v průmyslovém inženýrství, ve studiích týkajících se informačních technologií (Duchowski, 2007), v neposlední řadě také ke zvyšování kvality výuky (Lai, Tsai, Yang, Hsu, Liu, Lee, Lee, Chiou, Liang, & Tsai, 2013). Postup se týká zaznamenávání pohybů očí, zatímco účastník, který je pozorován, sleduje určité vizuální stimuly (Mansour & Flowe, 2010). *Eye-tracking* je tedy založený na tvrzení, že oční pohyby souvisí s kognitivním zpracováváním informací (Doherty, O'Brien, & Carl, 2010). Autory této hypotézy (*eye-mind hypothesis*) jsou Just a Carpenter (1975). Hypotéza vykazuje svoje limity a ty zkoumali mimo jiné např. Anderson, Bothell, a Douglass (2004), kteří nacházejí i případy (např. při jimi zkoumaných úkolech), řešitel musí zadávané informace dále rozklíčovat, tento jeho proces však na záznamu pohybů očí není vidět. Pro další řešitelův postup k němu však muselo dojít. Přes tyto nesrovnalosti je *eye-mind* hypotéza stále základním kamenem *eye-trackingu*.

Pohyby očí jsou snímány pomocí oční kamery (tzv. *eye-trackeru*). Většinou jde o přístroj, který vyzařuje infračervené záření, na základě jeho odrazu (od sítnice a rohovky) určuje přístroj pomocí kamer citlivých na infračervené záření umístění pohledu dané osoby. Data jsou následně ukládána a zpracovávána *eye-trackingovým* softwarem, a tak je možné získat kvantitativní informace, které se týkají času a rychlosti sledování i kvalitativní, zaměřené na způsob zkoumání pozorovaného obrazu (Goldberg & Kotval, 1999).

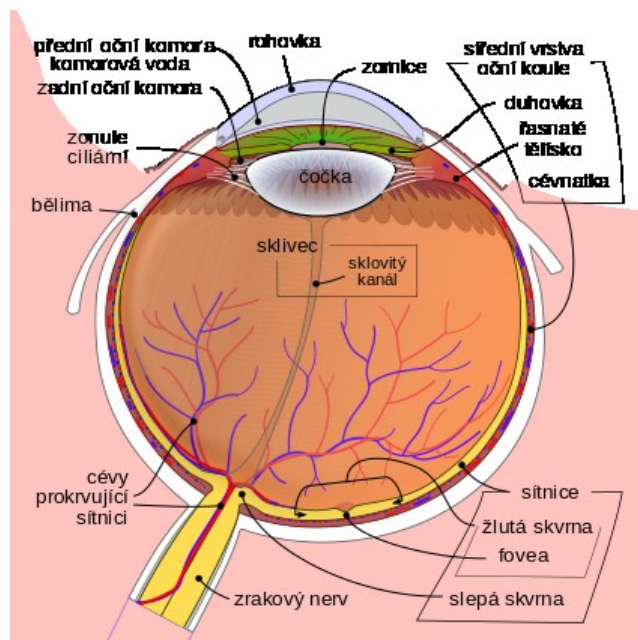
Při orientaci a hledání informací v neznámém prostředí nastávají u pozorované osoby obvykle dva typy dějů – percepční a kognitivní. Při percepčním procesu si uživatel podnětu pouze všimne, při kognitivním se již zabývá jeho funkcí, a tomu také odpovídá čas strávený sledováním daného prvku (Kekule, 2015; Popelka, Brychtová, & Voženílek, 2012).

K přesnějšímu pochopení principu fungování metody je nutné porozumět stavbě, funkci a pohybům lidského oka.

Lidské oko a jeho pohyby

Zrakový orgán člověka se skládá z oční koule a přídatných očních orgánů. Je uložen v očnici, zprostředkovává informace o okolním prostředí (světla, barvy) a napomáhá orientaci v prostoru

(Synek & Skorkovská, 2004). Tvar oka je přibližně koule o průměru 25 mm a skládá se ze tří vrstev. První vrstva (vnější), která zajišťuje mechanickou ochranu, zahrnuje průhlednou rohovku, což je místo lomu světelných paprsků a bělimu, která je pevná a neprůhledná. Střední vrstva slouží hlavně k výživě oka. Ve vnitřní vrstvě se nachází sítnice, jež obsahuje receptorové buňky (odtud jsou podněty dále vedeny do centrální nervové soustavy). Obsah oka je sklivec, čočka, a komorová voda (Naňka, Elišková, & Eliška, 2009). Bližší anatomie oka je znázorněna na obrázku 2.



Obrázek 2 Stavba oka (Public Domain, 2009)

Světlo z okolí se zornicí dostává na sítnici, kde se nachází světločivné buňky – tyčinky a čípky. Tyčinky reagují na intenzitu světla, zajišťují tak skotopické vidění, citlivost čípků se týká různých vlnových délek (barev), čili zajišťují fotopické (denní) vidění. Místo s nejvyšší hustotou světločivných buněk se nazývá žlutá skvrna. Při dopadu světla na toto konkrétní místo na sítnici je vidění nejostřejší, člověk je schopen například čtení textu. Aby světlo dopadalo přímo na žlutou skvrnu, musí čtenář okem pohybovat, a tak je možné měřit, kam se pozorovatel při čtení zaměřuje (Holmqvist, Nyström, Andersson, Dewhurst, Jarodzka, & Van de Weijer, 2011).

Oční pohyby tedy plní společnou funkci. Tou je zachycení viditelného objektu a jeho umístění do místa nejostřejšího vidění. Na tomto místě může být objekt nejlépe identifikován, rozmezí takového (foveálního) vidění představují cca 2° vizuálního úhlu při obvyklé vzdálenosti čtenáře od textu, pro porovnání, 1° vizuálního úhlu představuje zhruba tři až čtyři písmena textu. Ostrost vidění mimo foveu rychle klesá. Informace z textu je však možné čerpat i z méně ostré zóny vidění (parafoveální), jež má rozpětí až 5° vizuálního úhlu.

Popis nejčastějších pohybů, které lidské oko při pozorování objektů vykonává, shrnuje tabulka 7. Podrobněji je charakter těchto pohybů popsán pod ní.

Tabulka 6 Nejčastější pohyby očí dle Holmqvista a kol. (2011)

| Typ pohybu | Doba trvání (ms) | Rozptyl | Rychlost |
|---|-------------------------|----------------|-----------------|
| Fixace | 200-300 | - | - |
| Sakáda | 30-80 | 4-20° | 30-500°/s |
| Glisáda | 10-40 | 0,5-2° | 20-140°/s |
| Plynulé sledovací oční pohyby (<i>smooth pursuit</i>) | - | | 10-30°/s |
| Mikrosakáda | 10-30 | 10-40" | 15-50°/s |
| Drobný třes (<i>tremor</i>) | - | < 1" | 20" |
| Unášivý pohyb očí (<i>drift</i>) | 200-1000 | 1-60" | 6-25" |

Fixační oční pohyby

Pokud v klidu pozorujeme pevný bod, oko nezůstává bez pohybů. Popsané jsou tři druhy fixačních pohybů. Prvním z nich je tremor (třes, chvění), který má vysokou frekvenci (až 100 kmitů za sekundu) a nízkou amplitudu (viz Tab. 6). Každé oko se chvěje jinak, pohyb nasedá na další pohyby oka (drift a mikrosakády). Drift, unášivý pohyb očí, dle Jošta (2009) nebo pomalý klouzavý pohyb, dle Skopalíka (2003), je charakterizován proměnlivou frekvencí. I v tomto případě driftují oči nezávisle na sobě. Mikrosakády se již, na rozdíl od dvou předchozích pohybů, vyznačují vzájemnou korelací pohybu obou očí. Ani jeden ze zmíněných pohybů se nedá ovládat volně (Jošt, 2009).

Sakády a glisády

Sakády jsou nejrychlejšími očními pohyby. Jsou to vůbec nejrychlejší pohyby, které tělo dokáže. Jsou to rychlé pohyby mezi fixacemi, pro bližší představu například při čtení od slova k dalšímu slovu. Sakády nemusí zaostřit přímo daný cíl (např. začátek slova), ale mohou se zastavit již před ním. Pohyby, které tuto odchylku dorovnají, se nazývají glisády (Duchowski, 2007).

Plynulé sledovací oční pohyby

V angličtině *smooth pursuits*, česky plynulé sledovací oční pohyby, umožňují hladce sledovat objekty ve vizuálním poli. Na rozdíl od sakád, které jsou rozděleny do fází skoků a fixací, tento pohyb kopíruje pohyb sledovaného objektu a díky tomu zůstává vidění jasné (Jošt, 2009).

1.2.2 Historie eye-trackingu

Popelka (2018) zavádí historii *eye-trackingu* až ke čtvrtému století před naším letopočtem. Cituje Wadea (2010), kdy se o pohyby očí zajímal Aristoteles, který zaznamenal, že lidské oči jsou společná jednotka a nelze, aby se jedno pohybovalo jinak než druhé. Jeho následníkem v tomto ohledu byl Ptolemaios, ten na toto téma prováděl i experimentální studie.

Thite a Brown (2015) i Singh a Singh (2012) datují počátek studií pohybu oka k roku 1792, kdy Wells používal paobrazy (angl. *after images* nebo *ghost images*) k popisu pohybu očí. O problematiku zraku se zajímal i Jan Evangelista Purkyně, který položil, mimo jiné, základ medicínskému oboru oftalmometrie⁵. Pro eye-trackingové měření je důležitý princip očního zrcátka, později zkonstruovaného Helmholtzem, které umožňuje pozorování očního pozadí (Kuric). Odrážejícím se obrazům se říká Purkyňovy obrázky. Ty mohou být použity pro přesný záznam oka v bezkontaktních metodách měření pohybu oka. Jsou známy minimálně čtyři Purkyňovy obrázky, které představují odrazy od různých částí oka. První z nich je odraz paprsku od vnější strany rohovky, druhý je odraz od vnitřní strany rohovky, třetí od přední strany čočky a čtvrtý od zadní strany čočky. Většina *eye-trackerů* využívá první Purkyňův obrázek, některé i čtvrtý (Popelka, 2018; Popelka a kol., 2012).

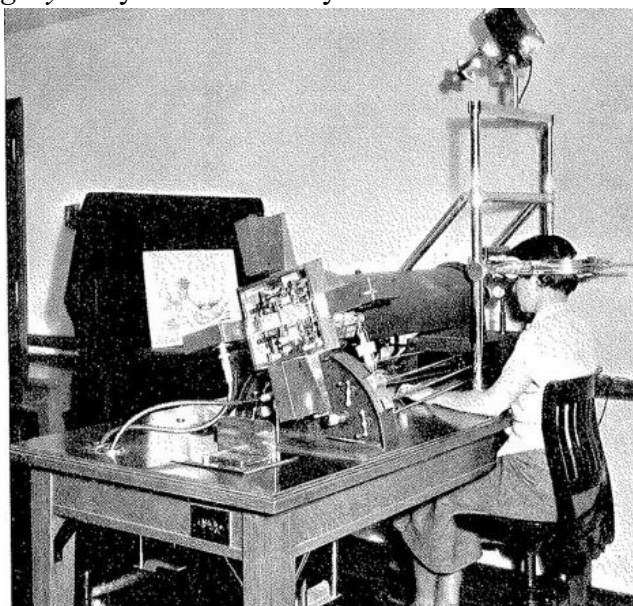
Francouzský psycholog, Émile Javal sestrojil zařízení, které zaznamenávalo pohyb očí. Využívalo principu odrazu zrcátka, které bylo připevněno na oko. Obraz se poté nahrával na fotografickou desku. Právě on poprvé popsal sakadické pohyby oka (Popelka, 2018; Thite & Brown, 2015). Na vylepšení postupu měření se v průběhu let 1897-8 zaměřili Ahrens a Delabarre. Místo zrcátka používali miskou ze sádry. V misce byl připevněn drátek a oční pohyby tak byly zaznamenávány pomocí kymografu. Teprve později začaly vznikat eye-trackery, u kterých nebylo přímo propojeno oko a záznamový povrch. Ve stejných letech, Edmund Huey nahrával oční pohyby přenosem pohybu páky na povrch pokrytý sazí (Thite & Brown, 2015).

Poměrně neinvazivní a přesná technika zaznamenávající pohyb očí byla vyvinuta Dodgem a Clinem v roce 1901. Ti využívali odraz světla z rohovky. Metoda využívala fotografickou desku a sledovala horizontální pohyby oka (na ose x) a čas (na ose y). Dvourozměrný záznam pohybů očí představili Charles Judd, Mc Allister a Steel v roce 1905.

⁵ Metoda pro stanovení zakřivení přední plochy rohovky

Ve dvacátém století pokračoval rozmach *eye-trackingových* systémů založených na odrazu rohovky. Miles Tinker v roce 1930 studoval rozvržení stránky i vliv velikosti písma na rychlost čtení a sled pohybů očí.

Důležitou osobností v oblasti *eye-trackingového* výzkumu byl Guy Thomas Buswell. Ten ve čtyřicátých letech zaznamenával oční pohyby na filmovou pásku, přičemž páska nesla údaje od dvou set respondentů (každý sledoval více obrázků), celkem tedy více než dva tisíce záznamů pohybu. Jeho studie byla prvním systematickým výzkumem a pro *eye-tracking* představovala revoluci a položila základ dnešnímu *eye-trackingovému* výzkumu. Do jeho monografie spadají i první *heat* mapy a oblasti zájmu. Zařízení, kterým pohyby očí zaznamenával je zobrazeno na obrázku 3.



Obrázek 3 Eye-trackingové zařízení Guye Thomase Buswella (EyeSee, 2014)

První teoretická možnost zpracování údajů očních pohybů v reálném čase znamenala metoda elektrookulografie (EOG), kterou používal v roce 1939 Jung. Studium pohybu očí se začalo využívat i v letectví, kdy Paul Fitts používal kamery k sledování očních pohybů pilotů.

První *eye-tracker* s možnou pohyblivostí hlavy byl vynalezen Hartridgem a Thompsonem v roce 1948. To vedlo k možnosti uvolnění účastníků ze striktního omezení pohybů, přesto byly záznamy, proti dnešním možnostem, ještě velice nepřesné (Thite & Brown, 2015).

V padesátých a šedesátých letech dvacátého století prováděl výzkumy ruský psycholog Alfred Yarbus. Sledoval vliv položené otázky na pozorovaný obraz, což potvrdilo jeho dřívější pozorování, že úkoly mění místa, na která se pozorovatel fixuje. Tato práce podporuje fakt, že faktory dané úkolem mohou zastínit faktory dané stimulem (Popelka, 2018).

V sedmdesátých letech se dále zvyšovala přesnost metody, v této době již mohlo docházet k volnějším pohybům hlavy. Zpřesnění vedlo k vývoji teorie, jejímiž autory jsou Just a Carpenter (1975). Tato hypotéza oční mysli zmiňuje, že sledovaný objekt je pozorovatelem zpracováván. Použitý *eye-tracker* fungoval na principu Purkyňových obrázků a měřil rozdíl mezi prvním a čtvrtým Purkyňovým obrázkem (viz výše). Tyto obrázky byly získány pomocí soustavy zrcadel. Analogové signály dokázaly snímat s frekvencí 300 Hz.

S rozvíjením počítačové technologie se začaly využívat *eye-trackery* založené na pohybu očí v reálném čase. Tyto přístroje byly založeny na videozáznamu. V devadesátých letech vzrostl počet výzkumů pomocí oční kamery. Zlepšovaly se kvality zařízení a jejich ceny klesaly (Thite & Brown, 2015).

V dnešní době je již známo mnoho zařízení schopných sledovat a zaznamenávat pohyby očí. Tato zařízení mohou být samostatná nebo zabudovaná v počítači. Pro záznam sledování obrazovky počítače mají nejpočetnější zastoupení produkty od značky Tobii s různými parametry – frekvencí od 30 do 600 Hz a s přesností až 0,4° (např. Tobii Pro Spectrum). U značky EyeTech jsou to *eye-trackery* s frekvencí 60 až 80 Hz. Tato značka disponuje výrobky zaměřenými na zaznamenávání z větší dálky, a to až z 2,5 metru (EyeTech VT2 XL). Výrobce Smart Eye se může chlubit produkty jako Smart Eye Pro dx, který je složený z osmi kamer a umožňuje tak 360° *eye-tracking*. Tyto *eye-trackery* pro záznam sledování obrazovky mohou mít frekvenci 50-60 Hz s přesností 1-0,5°. Dále jsou na trhu zastoupena zařízení značek *Mirametrix TheEyeTribe*, *ASL* nebo *SMI* (iMotions, 2018c).

Kromě sledování obrazovky je možné sledovat i svět v reálném prostředí pomocí *eye-trackingových* brýlí. I zde je možnost výběru různých druhů a značek brýlí. Tobii Eye Tracking Glasses 2 (Obr. 4) mohou zaznamenávat s frekvencí až 100 Hz. Dalším výrobcem brýlí je Pupil Labs s jejich *eye-trackerem* Pupil Labs Glasses, jež mohou nahrávat s frekvencí 200 Hz. Na trhu jsou i další značky, např. výrobce ASL s 30Hz kamerou) (iMotions, 2018b).



Obrázek 4 Tobii Eye Tracking Glasses (Tobii AB, 2018b)

Výrobce Tobii přišel také s možností záznamu pohybů očí ve virtuální realitě. Jejich název je Tobii HTC Vive VR Headset (iMotions, 2018d).

U většiny značek jsou dostupné i integrované systémy, které jsou kromě pohybu očí schopny zaznamenávat také srdeční tep, *GSR (galvanic skin response)* gesta nebo pohyby hlavy, EEG, EKG a téměř jakýkoliv další senzor (Gazepoint, 2018; iMotions, 2018a; Tobii AB, 2018a).

1.2.3 Vizualizace dat eye-trackingu

Pojmy vizualizace a analýza *eye-trackingových* dat nemají jasně vymezenou hranici a v literatuře se často prolínají. Na základě vizuální analýzy těchto výstupů lze vyčíst některé kognitivní procesy, jež u pozorovatele probíhají (Popelka, 2018). Terminologie v eye-trackingu není standardizovaná, proto je možné se v ní setkat s různým označením pro totéž (Holmqvist a kol., 2011). Níže jsou uvedeny nejčastěji užívané termíny, které jsou dále užity i v této práci.

Vizualizace trajektorií

Následující metody se používají ke sběru dat kvalitativní povahy. Jedná se téměř vždy o vykreslení pohybu očí po daném stimulu. K vykreslení trajektorie je možno použít *gaze plot* neboli *scanpath* (další názvy mohou být Fixation Track nebo Eye-Movement Pattern). Při této vizualizaci lze pozorovat veškeré trajektorie (sakády) a jejich ukončení (fixace). Každá fixace je zobrazena kruhem o různé velikosti (průměr odpovídá délce fixací). Uprostřed fixací může být časový údaj (délka trvání), případně pořadí fixace či reálný čas fixace (Kekule, 2014b; Popelka, 2018). Jako nevýhoda *gaze plotů* (při vyšším množství dat) je uváděn překryv jednotlivých fixací. To znemožňuje jejich analýzu (Li, Çöltekin, & Kraak, 2010).

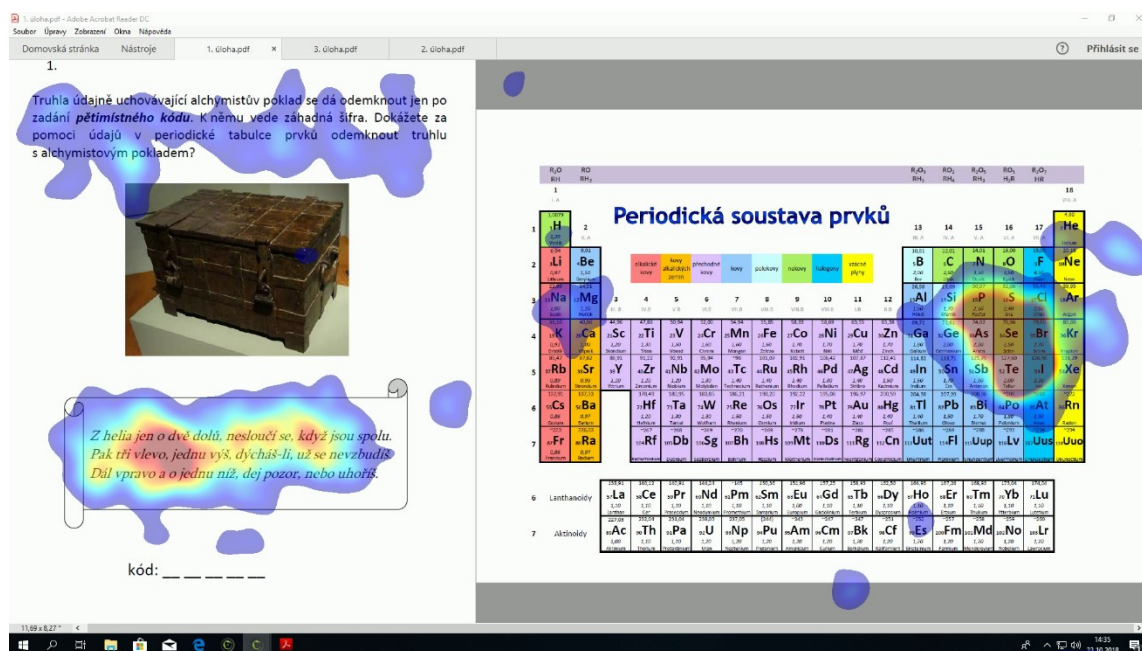
Animovaná verze *gaze plotu* může nést název *GazeReplay*. Při této metodě zobrazení lze sledovat trajektorie nad sledovaným obrazem měnící se v čase. Tento způsob je nejpřesnější (nedochází ke generalizaci dat). Výsledkem záznamu je video. Právě tato metoda je vhodná ke kombinaci s *think-aloud*, protože umožňuje analyzovat pohyby očí a dávat je do souvislosti se slovně popisovaným postupem zkoumaného jedince.

Další možností zobrazení *eye-trackingových* dat je tzv. *Space-Time-Cube* (Popelka, 2018). S koncepcí prostorově časového modelu zobrazení přišel na konci šedesátých let minulého století Hägerstrand (Kraak & Koussoulakou, 2005). Trajektorie očních pohybů jsou zobrazeny v krychli, kdy osa x a y slouží k zobrazení podnětu a osa z zobrazuje čas. Přednost této vizualizace může být shledávána ve zobrazení prostorové i časové složky najednou.

Heat mapy

Heat mapy (Kekule, 2014b; Popelka a kol., 2012) neboli *attention map* (Popelka, 2018), případně *fixation density map*, tj. mapa hustoty fixace (Slykhuis, Wiebe, & Annetta, 2005),

zobrazují kvantitativní charakter dat. Tyto mapy jsou vhodné k rychlému přehledu o tom, kam pozorovatelé nejvíce soustředí svou pozornost (za celou dobu pozorování), nelze z nich však vyčíst, proč se na dané místo soustředili (Popelka, 2018). Přesto však pomáhají hlubší analýze, a to například při zkoumání strategií řešení problémových úloh (Kekule, 2014b). Pomocí barevné stupnice zobrazují intenzitu pozorovaného místa. Příklad *heat* mapy zobrazuje obrázek 5.



Obrázek 5 Heat mapa první z řešených úloh v programu GazePoint

Areas of Interest

Využití oblastí zájmu neboli *Areas of Interest* AOI, případně *Regions of Interest*, ROI, Interest Areas (IAs) či LookZones je další možností vizualizace dat sebraných oční kamerou. Oblasti zájmu jsou ohraničené oblasti vyznačené na podnětu, u nichž se zjišťuje a zaznamenává např. počet fixací, pořadí fixací či délka fixací (Kekule, 2014b; Popelka, 2018). Ve výzkumech se oblasti zájmů hojně využívají. V didaktickém výzkumu u nás je využívala např. Labischová (2015) při analýze schopnosti studentů popisovat historické karikatury. Jako příklady využití oblastí zájmů ve výzkumech zahrnujících řešení přírodovědných úloh je možno uvést Tsai a kol. (2012), kteří vymezené oblasti nazývají *LookZones*. V modelu *expert-novice* jsou oblasti zájmu také využívány. Např. Strobel, Saß, Lindner, a Köller (2016) porovnávali využívání jednotlivých typů grafů u skupin studentů na různých úrovních znalostí.

K další analýze zjištěných dat jsou používány aplikace, které mohou např. vytvářet grafy, pracovat s AOI (statickými i dynamickými) či exportovat statistické údaje. Jejich funkce,

výhody i nevýhody závisí vždy na konkrétním programu. Přehled různých aplikací i se stručným návodem jejich ovládání je dostupný v monografii *Eye-tracking (nejen) v kognitivní kartografii. Praktický průvodce tvorbou a vyhodnocením experimentu*, jejímž autorem je Popelka (2018).

1.2.4 Eye-tracking a jeho využití v didaktickém výzkumu

Eye-tracking je ve vzdělávání používán k hodnocení vytvořených materiálů nebo k hodnocení uživatelů. V prvním přístupu jsou jako podněty pozorovatele využívány vytvořené materiály, jež jsou následně hodnoceny (Jarodzka, Gruber, & Holmqvist, 2017). Přímo ve výuce může být *eye-tracking* používán při vyhodnocování reakcí učitele na žáky, případně je možno usadit žáky před počítače s oční kamerou. Učitel může přímo pozorovat, kam se žáci přesně dívají. Takto vybavenou laboratoř vlastní Fakulta informatiky a informačních technologií Slovenské technické univerzity v Bratislavě (Popelka, 2018).

Využívání *eye-trackingu* ve výuce přírodních věd v zahraničí

Strategiemi žáků při řešení fyzikálních úloh, konkrétně se jednalo o kinematiku, se zabýval Hegarty (1992), který vyžíval data fixace pohledu a reakční doby. Na základě těchto údajů ověřoval, kterou strategii volili, zda řešili úlohu jako celek (holistický přístup) nebo si ji rozdělili na části. Khooshabeh, Hegarty, a Shipley (2013) objasňovali princip zjišťování těchto přístupů k úloze. Účastník, který používá holistickou strategii, upevní jednu oblast předtím, než proběhne sakáda⁶ k druhé oblasti. Opačně, při rozdělení na menší celky, provedou účastníci několik fixací na jednu oblast, předtím, než proběhne sakáda k druhé oblasti. Tento přístup je tedy charakterizován větším počtem fixací než sakád.

Modelům molekul se věnovali Hinze, Rapp, Williamson, Shultz, Deslongchamps, a Williamson (2013). V tomto výzkumu testovali využívání různých modelů, kuličkových (*ball and stick*) a modelů s náboji (*electrostatic potential map*), za použití analýzy *eye-trackingového* záznamu a verbálního popisu po splnění úkolu. Pozorování vedlo ke zjišťování vlivu předchozích znalostí na správnost odpovědi, změnu preference sledování jednotlivých modelů, jelikož odpovědi na otázky vyžadovaly modely s barevně vyznačenými náboji.

Ve studii autorů Tsai a kol. (2012), řešili vysokoškolští studenti úlohu s výběrem odpovědi zaměřenou na sesun půdy. Na základě jednotlivých faktorů, které byly v obrázku vyznačeny, měli studenti posoudit, na kterém obrázku by došlo k sesuvu půdy.

⁶ Jednotlivé oční pohyby jsou blíže popsány a objasněny v tabulce 6

Na každém obrázku byly znázorněny tři relevantní faktory (sklon svahu, srážky, pozůstatky v půdě) a jeden nepodstatný faktor - teplota. Testovaní zaškrtnuli svou odpověď nebo odpovědi a slovně (s využitím záznamu *Think-aloud*) ji odůvodňovali. Studie odpovídala na otázky: Jak studenti rozdělují čas na sledování možností a faktorů? Tráví studenti více času zkoumáním vybrané možnosti nebo zamítnutých alternativ? Stráví více času pozorováním relevantních nebo nerelevantních faktorů? Věnují úspěšní řešitelé jinou míru pozornosti jiným faktorům než neúspěšní řešitelé? Výsledky vykazují vyšší černost pozorování relevantních faktorů u úspěšných řešitelů. Neúspěšní řešitelé mají problém s dekódováním problémů a rozpoznávání faktorů.

Smíšená studie (S. J. R. Hansen, 2014), která využívala multimodální data (*eye-tracking*, *think-aloud*, skóre, nákresy), se věnovala převážně tomu, jak studenti pracují s vizuálními znázorněními různých úrovní (makro znázornění, symbolické znázornění a submikro znázornění) viz Johnstone (1991). Oční kamera byla využita v části výzkumu, jež využívala hru PhET (*Physics Education Technology*). Důraz byl kladen převážně na umístění pohledu a délku trvání sledování daného stimulu. Úkolem účastníků bylo vyčíslovat rovnice, k čemuž byl dostupný zápis rovnice a také interaktivní znázornění molekul probíhající reakce. Aplikace za správnou odpověď přičítala body. Získané skóre bylo využito jako další možnost sběru dat. Autorka si kladla otázku, zda se zlepší vnímání různých úrovní reprezentací po hraní hry PhET, přesto neshledala nárůst schopnosti používat tyto reprezentace v řešení problémových úloh, což může být zapříčiněno krátkou dobou trvání hry. Hra však prokázala možnost být nástrojem pro studii očních záznamů (pomocí oční kamery), při sledování řešení úloh s více úrovněmi (symboly, znázornění).

Dále bylo zjištěno, že někteří studenti používají u určitých druhů úloh určitý postup, zatímco někteří používají pokaždé jiný. Ve sledování oční kamerou je proto možné vidět možnosti seskupení žáků do učebních skupin dle jednotlivých postupů řešení úloh. Autorka neshledala žádné vztahy mezi využíváním určitého druhu reprezentace. Někteří studenti využívali pro řešení problémů pouze rovnice, jiní pouze grafické znázornění.

Využívání *eye-trackingu* v didaktickém výzkumu u nás

V didaktickém výzkumu se metoda měření pohybů očí věnovala převážně čtení (viz Fejtová, Fabián, & Dobiáš, 2011; Jošt, 2009; Metelková Svobodová, 2016). Červenková, Malčík, Guziur, a Sikorová (2014) věnovali pozornost čtení zasazenému do oborového kontextu. Pomocí *eye-trackingu* sledovali, jak efektivně žáci pracují s textem učebnice dějepisu. Výukou dějepisu se zabývala také Labischová (2015), která analyzovala schopnost studentů interpretovat historické karikatury, zkoumala rozdíl mezi strukturovaným a nestrukturovaným popisem, ve svém výzkumu používala kromě *eye-trackingového* záznamu a metody *think-aloud* také čidlo odporu a vodivosti kůže (*galvanic skin response*), které dokáže zaznamenat změny reakcí (zejména stresové situace).

Eye-tracking využívá již řadu let Univerzita Palackého v Olomouci. Jejich hlavním zaměřením je kartografie. Z hlediska didaktického výzkumu byla věnována pozornost vysokoškolským studentům, konkrétně byl zjišťován vliv uspořádání mapy na jejich učební strategie (viz Dobešová, 2016).

V oblasti přírodních věd využívala oční kamery Škrabánková (2016), která se zabývala sledováním žáků při řešení matematických a logických úloh. Ve fyzikálním vzdělávání proběhly výzkumy přímo se žáky středních škol, mimo jiné byly zkoumány strategie žáků při řešení úloh (Kekule, 2014a, 2014b, 2015).

V ostatních přírodních vědách jde o metodu u nás nepříliš používanou a prozkoumanou.

2 Cíle práce

Eye-tracking se stal metodou využívanou také v oblasti vzdělávání viz (Lai, Tsai, Yang, Hsu, Liu, Lee, Lee, Chiou, Liang, & Tsai, 2013), přičemž přírodovědné vzdělávání není výjimkou. Metoda se uplatňuje i v Česku, kde je z přírodovědných oborů zastoupena zejména kartografie a fyzika. Proto je jedním z cílů této práce ověřit možnosti využití *eye-trackingu* také v oblasti chemického vzdělávání. Celkové cíle práce jsou následující:

- Shrnout teoretická východiska k dané problematice se zvláštním zaměřením na využití ET k edukačním účelům v přírodovědných oborech, konkrétně v chemii.
- Aplikovat metody na příkladu zjišťování strategií využívaných žáky při řešení problémových úloh z chemie.
- S využitím ET záznamu zmapovat postup žáků při řešení problémových úloh z chemie.

V kombinaci s metodou *think-aloud* práce zkoumá strategie využívané žáky při řešení problémových úloh. Tyto strategie jsou roztříděny dle Polyi (2004) a pojmenovány na základě seznamu doplněného Korenekovou (2018).

- Doplnit seznam strategií řešení problémů využívaných žáky

Z kvalitativní analýzy *eye-trackingového* záznamu je vytvořen popis a porovnání postupu úspěšných a neúspěšných žáků při řešení problémových úloh. Pozornost je věnována obzvláště práci s periodickou tabulkou prvků, jelikož na práci s ní jsou úlohy zaměřeny.

- Porovnat žákův popis jeho postupu s *eye-trackingovým* záznamem.

Žáky zmiňované postupy jsou porovnávány se záznamem pohybu očí. Části, ve kterých se záznam neshoduje s jejich popisem jsou popsány a diskutovány.

- Porovnat výsledky získané s využitím ET s výsledky získanými v pilotním ověřování úloh.

Zjištěná data budou využita ve srovnání kvality výsledků získaných pilotáží, a RTA v kombinaci s ET. Budou formulovány další možné kroky výzkumu vedoucí k zpřesnění metody zjišťování průběhu práce žáků na úlohách. Na základě výsledků bude také formulován návrh postupu vedoucího k upevňování podporujících strategií řešení problému. Model bude dále uplatněn na střední škole, kterou navštěvují žáci tvořící výzkumný vzorek této studie.

2.1 Výzkumné otázky

V souvislosti se sledováním postupu žáků při řešení problémových úloh a posuzování efektivity využitých metod byly formulovány tyto výzkumné otázky:

- O1: Do jaké míry lze s využitím moderních metod mapovat postup žáků při řešení problémových úloh?
- O2: Jak žáci postupují při řešení problémových úloh?
- O3: Které strategie uplatňují žáci při řešení problémových úloh?
- O4: Které problémy omezují žáky při řešení úloh?
- O5: Jaké jsou rozdíly mezi strategiemi uplatňovanými úspěšnými a méně úspěšnými žáky při řešení problémových úloh?
- O6: Odpovídá žákův popis vlastního postupu tomu, co při řešení skutečně sleduje?

2.2 Hypotézy

Vzhledem k tomu, že pro deskriptivní výzkumné otázky typicky hypotézy nebývají formulovány (Gavora, 2000), byly hypotézy formulovány pouze pro relační výzkumnou otázku.

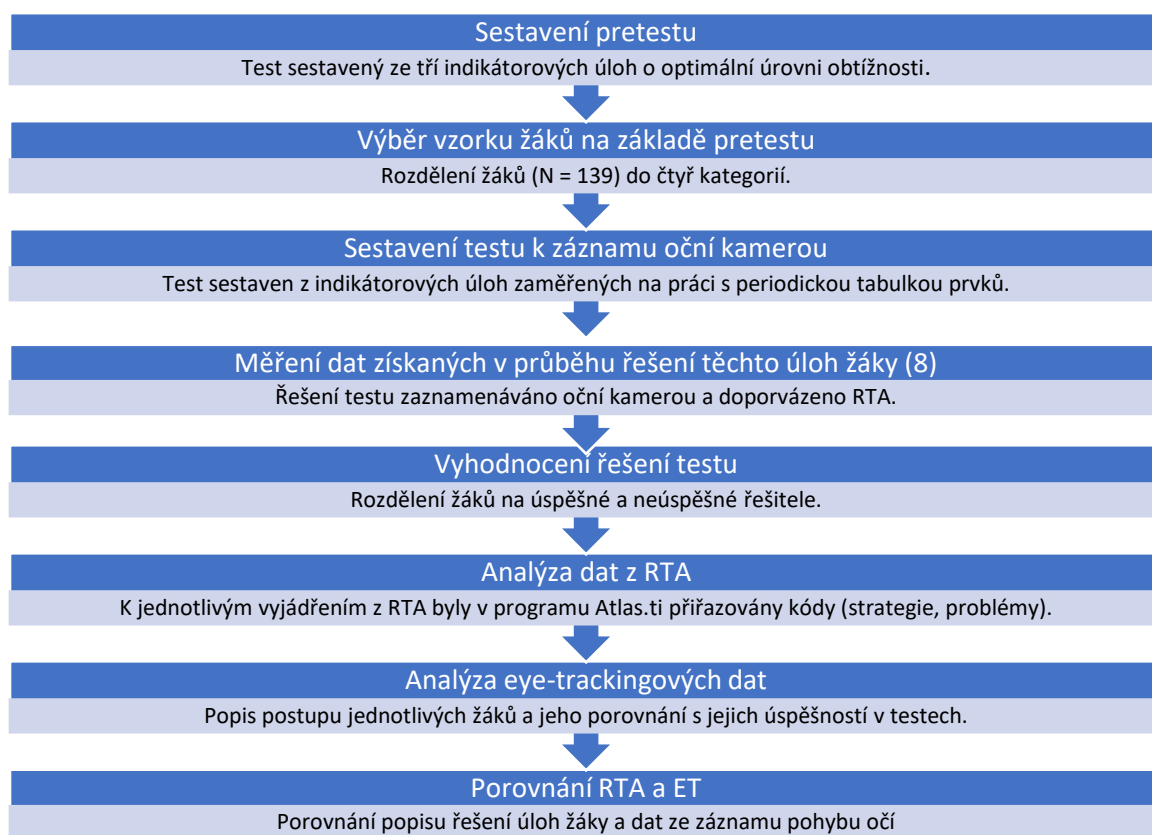
- H1: Úspěšnější žáci využívají při řešení problémových úloh podporující strategie častěji než žáci méně úspěšní.
- H2: Méně úspěšní žáci využívají při řešení problémových úloh limitující strategie častěji než žáci úspěšní.
- H3: Méně úspěšní žáci se častěji setkávají s problémy při řešení problémových úloh než žáci úspěšní.

3 Metodologie výzkumu

K zodpovězení položených výzkumných otázek bylo zapotřebí využít metody umožňující zmapování vnitřních procesů žáků při řešení problémových úloh. K tomuto účelu byl využit *eye-tracking* a metoda retrospektivního *think-aloud*. Jedná se tedy o kvalitativní výzkum.

3.1 Design výzkumu

Jednotlivé fáze výzkumu jsou popsány na obrázku 6. Podrobnější informace k jednotlivým fázím jsou doplněny v níže uvedených podkapitolách.



Obrázek 6 Fáze výzkumu

3.2 Použité výzkumné metody

Eye-tracking umožňuje pozorovat, které údaje řešitel úlohy při práci sledoval. Neposkytuje však údaje o tom, proč takto jednal (Anderson, Bothell, & Douglass, 2004). Z tohoto důvodu je *eye-tracking* často podporován metodou *think-aloud* či komentářem experta, který dokáže analyzovat kroky v dané úloze (Seagull & Xiao, 2001). I když není jasné, o kolik informací bychom přišli, kdybychom využili pouze *eye-tracking* (Ehmke & Wilson, 2007), je prokázáno,

že ve spojení s think-aloud dostane výzkumník více informací (Hansen, 1991). Samotný eye-tracking neposkytuje odpovědi na otázky důležité pro mapování strategií, kterými jsou „proč“ a „jak“ (Duchowski, 2006). J.P. Hansen (1991) porovnával metodu *think-aloud* s využitím video záznamu a *eye-trackingového* záznamu. Účastníci, u kterých byl rozhovor podporovaný eye-trackingovým záznamem, podávali přesnější a preciznější informace.

S ohledem na výše uvedené byla pro výzkum popisovaný v této práci zvolena retrospektivní forma verbálního protokolu doprovázena stimulací ve formě *Gaze* videa, které se ukazuje jako nejúčinnější právě k získávání nejvíce informací, o čemž hovoří i výrobce *eye-trackingových* zařízení Tobii.

Podrobnější shrnutí uvedených metod je uvedeno v tabulce 8.

Tabulka 7 Možnosti RTA vzhledem k použité stimulaci (upraveno dle Tobii Technology (2009)).

| RTA | Vizuální podpora RTA | RTA podporované Gaze plotem | RTA podporované Gaze videem |
|---|---|---|--|
| Znatelně méně dat (komentářů) než u vizuálně podporovaných forem RTA. | Snímek či video řešené úlohy podněcuje řešitele k vyššímu počtu komentářů, avšak stále je produkováno méně dat, než při RTA s <i>eye-trackingovou</i> podporou. | Druhá nejúčinnější varianta RTA, stimuluje účastníky ke komentářům zahrnujícím i terminologii a porozumění. | Při podpoře RTA <i>gaze</i> videem je od řešitelů získáváno nejvyšší množství komentářů. Jedná se o nejlepší možnou volbu pro použití RTA. |

3.3 Výběr respondentů

Koreneková (2018) i Vojtř (2017) na základě výsledků ověřování úloh identifikovali několik skupin řešitelů podle jejich úspěšnosti. S ohledem na časovou náročnost bylo zapotřebí pro ověřování strategií řešení úloh s podporou eye-trackingu vybrat pro výzkum jen určité žáky. Cílem výběru bylo ve vzorku identifikovat řešitele podle úspěšnosti. K výběru vzorku byl využit pretest. Pilotní testování probíhalo v září 2018, ihned po nástupu žáků po ZŠ do prvního ročníku SŠ. Tito žáci by tak měli naplňovat výstupy z RVP pro ZŠ.

Na základě dosaženého skóre byli žáci rozděleni do čtyř kategorií. Vzhledem k nízkému zastoupení žáků s nejvyšším dosaženým počtem bodů byli žáci, kteří získali čtyři a tři body zahrnuti do jedné kategorie (viz Tab. 8). Z každé kategorie byli vybráni dva žáci, kteří za

podpory ET řešili druhou sadu úloh. Ta sloužila k identifikaci jimi využívaných strategií řešení problémových úloh.

Tabulka 8 Kategorizace žáků dle úspěšnosti v pretestu

| KATEGORIE DLE ÚSPĚŠNOSTI | POČET BODŮ | POČET ŽÁKŮ |
|-----------------------------|------------|------------|
| KATEGORIE 1 | 4 či 3 | 19 |
| KATEGORIE 2 | 2 | 30 |
| KATEGORIE 3 | 1 | 22 |
| KATEGORIE 4 | 0 | 68 |

3.4 Výběr úloh a jejich hodnocení

Úlohy byly přejímány z Metodických komentářů ke Standardům pro základní vzdělávání – Chemie (Holec & Rusek, 2016) na základě tematických okruhů a úrovně obtížnosti. Očekávané výstupy v RVP ZV jsou formulovány na konec 9. ročníku. Lze tedy předpokládat, že žáci by na začátku prvního ročníku střední školy daných očekávaných výstupů měli dosahovat.

3.4.1 Pretest

Pro pretest byly vybrány úlohy o optimální úrovni z různých tematických celků. Tyto úlohy byly již několikrát ověřeny (viz Koreneková, 2018; Vojíř, 2017). Volba úloh z různých tematických celků v pretestu zaručuje to, že žák nebude při řešení ovlivněn údaji z jiné úlohy ze stejného tematického celku (viz Vojíř, 2017).

První úloha byla zaměřena na práci s periodickou tabulkou prvků. Z hlediska RVP lze úlohu zařadit do tematického okruhu Částicové složení látek a chemické prvky. Očekávané výstupy týkající se periodické tabulky jsou popsány tím, že žák: „*orientuje se v periodické soustavě chemických prvků, rozpozná vybrané kovy a nekovy a usuzuje na jejich možné vlastnosti*“ (Národní ústav pro vzdělávání, 2017).

Dva kamarádi chemici čekají, než se vydestiluje produkt jejich celodenního snažení. Čas si krátí hrou, která je podobná klasické přebíjené s kartami. V případě chemiků nevítězí karta s vyšší hodnotou, ale vyšší číslo získané různými matematickými operacemi s počtem prvků či protonovými čísly. Celou hru vyhraje ten, komu se podaří zvítězit ve větším počtu tahů.

Takto vypadala jejich hra:

I. tah

Karel: Součet protonových čísel všech kovů ve 2. periodě.

Tomáš: Součin protonových čísel dvou prvků s největší elektronegativitou.

II. tah

Tomáš: Počet prvků třetí periody, které vedou elektrický proud.

Karel: Počet plyných prvků druhé periody.

III. tah

Karel: Rozdíl protonových čísel posledního a prvního prvku 13. skupiny vedoucího teplo.

Tomáš: Součet protonových čísel prvků 15. skupiny nevedoucích elektrický proud.



[2]

Zakroužkujte možnost zachycující výsledek hry. Při řešení využijte periodickou tabulku prvků.

- a) vyhrál Karel
- b) vyhrál Tomáš
- c) výsledek je nerozhodný

Obrázek 7 První úloha pretestu

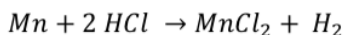
Řešením první úlohy bylo zaškrtnutí správné odpovědi. Proto měli žáci možnost získat pouze dva či žádný bod. Správnou odpovědí bylo c), výsledek je nerozhodný (viz Holec & Rusek, 2016).

Druhá úloha byla vybrána z tematického okruhu Chemické reakce. K jejímu vyřešení musel žák porozumět grafu, který zachycoval závislost rychlosti reakce na čase a znalost vlivu faktorů na její průběh. Očekávané výstupy v RVP ZV zmiňují, že žák: „*přečte chemické rovnice a s užitím zákona zachování hmotnosti vypočítá hmotnost výchozí látky nebo produktu, aplikuje poznatky o faktorech ovlivňujících průběh chemických reakcí v praxi a při předcházení jejich nebezpečnému průběhu*“ (Národní ústav pro vzdělávání, 2017).

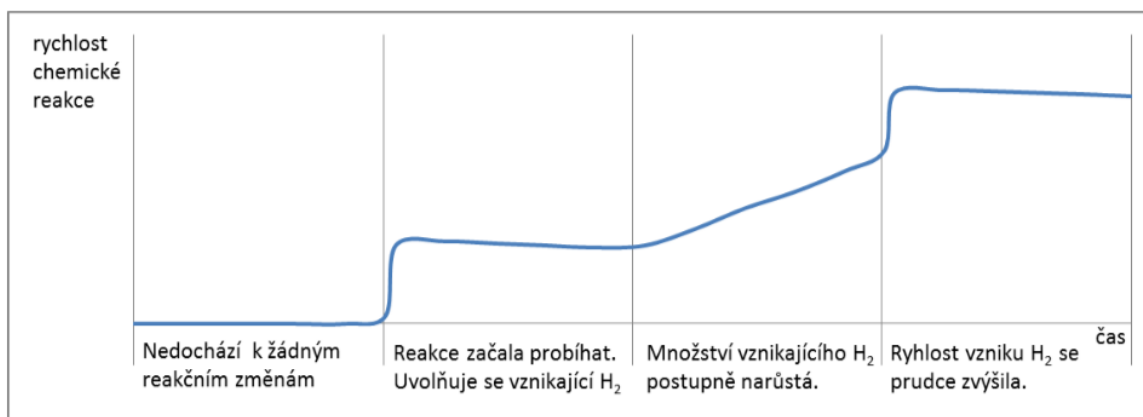


Profesor Zátka vyvíjí ve své laboratoři nový typ baterie. Jednou ze složek této baterie je i chlorid manganatý. S přihlédnutím k dostupným surovinám zvolil jako nejvhodnější postup pro jeho přípravu reakci manganu s kyselinou chlorovodíkovou za vzniku vodíku.

[2]



Prohlédněte si níže uvedený graf závislosti reakční rychlosti na čase. K jednotlivým úsekům grafu přiřaďte kroky postupu prof. Zátky při přípravě MnCl_2 . Řešení zaznamenejte vepsáním písmen do částí grafu.



- A. Reakční směs postupně mírně zahříval.
- B. Do reakční směsi přilil 10 ml 25% kyseliny chlorovodíkové.
- C. Do reakční baňky nalil 30 ml 10% kyseliny chlorovodíkové.
- D. Do reakční baňky přidal kousek manganu o hmotnosti 4,2 g.

Zdůvodněte své řešení:

Obrázek 8 Druhá úloha pretestu

Odpověď žáků měla obsahovat nejen správné přiřazení jednotlivých kroků ke grafu, ale také jeho zdůvodnění. Pokud žák kroky správně přiřadil, avšak své tvrzení neobhájil, získal za takto vyřešenou úlohu pouze jeden bod (částečně správné řešení). Správné odpovědi druhé úlohy bylo pořadí C, D, A, B, případně D, C, A, B. Zdůvodnění potom mělo obsahovat identifikaci jednotlivých kroků (viz Holec & Rusek, 2016).

Třetí úloha vychází z tematického okruhu Organické sloučeniny, u kterých je v očekávaných výstupech uvedeno, že žák: „rozliší nejjednodušší uhlovodíky, uvede jejich zdroje, vlastnosti a použití“ (Národní ústav pro vzdělávání, 2017).

| chemická látka | teplota tání / °C | teplota varu / °C | hustota / g/cm ³ |
|----------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|
| methan | -182,5 | -161,5 | 0,676 |
| toluen | -93,0 | 110,6 | 0,867 |
| benzen | 5,5 | 80,1 | 0,877 |
| isooktan | -107,38 | 99,3 | 0,688 |
| naftalen | 80,0 | 218,0 | 1,140 |

Na základě informací v tabulce rozhodněte o pravdivosti následujících tvrzení pro uvedené látky za laboratorních podmínek. Odpověď zakroužkujte (ANO – tvrzení je pravdivé, NE – tvrzení není pravdivé).

| | | |
|----------------------------|-----|----|
| Benzen je plynná látka. | ANO | NE |
| Isooktan je kapalná látka. | ANO | NE |
| Naftalen je pevná látka. | ANO | NE |
| Toluen je plynná látka. | ANO | NE |

Obrázek 9 Třetí úloha pretestu

Pro správné vyřešení bylo zapotřebí porozumění tabulce v zadání a uplatnění jejich informací při uvádění pravdivostí uvedených tvrzení. Pro správné vyřešení byla zapotřebí znalost významu pojmů teplota tání a teplota varu, dále poté znalost laboratorních podmínek. Poté již žáci odvozovali z dat v tabulce skupenství dané látky při teplotě 20 °C (viz Holec & Rusek, 2016). Tato úloha byla hodnocena také pouze dvěma či žádným bodem, jelikož všechny odpovědi byly založeny na stejném principu řešení a po znalosti jeho fungování by žák zodpověděl správně všechny úlohy.

3.4.2 Výzkumné měření

Pro samotné *eye-trackingové* měření byly rovněž použity indikátorové úlohy z publikace Metodické komentáře a úlohy ke Standardům pro základní vzdělávání – Chemie (Holec & Rusek, 2016). Tentokrát byly použité úlohy z jednoho tematického okruhu Částicové složení látek a chemické prvky, konkrétně se týkaly periodické soustavy prvků. Žáci by měli být schopni (dle očekávaných výstupů RVP) orientace v periodické soustavě chemických prvků, rozpoznání vybraných kovů a nekovů a usuzování jejich možných vlastností (Národní ústav pro vzdělávání, 2017). Vybrané úlohy zastupovaly všechny tři úrovně obtížnosti (základní, optimální, excelentní)⁷. Řešitelům byla poskytnuta periodická soustava prvků. Díky tomu je

⁷ Jednotlivé úrovně jsou blíže popsány autory Holcem a Ruskem (2016)

možné sledovat její využití a orientaci žáků v ní při řešení zadané úlohy. Zadání úloh je k uvedeno na obrázcích 10, 11 a 12.

Truhla, údajně uchovávající alchymistův poklad, se dá odemknout jen po zadání **pětimístného kódu** sestaveného z protonových čísel prvků. K němu vede záhadná šifra. Dokážete za pomoci periodické tabulky prvků odemknout truhlu s alchymistovým pokladem?

*Z helia jen o dvě dolů, nesloučí se, když jsou spolu.
Pak tři vlevo, jednu výš, dýcháš-li, už se nevzbudíš.
Dál vpravo a o jednu níž, dej pozor, nebo uhřiš.*



[1]

Kód: _ _ _ _ _

Obrázek 10 První úloha eye-trackingového měření

První úloha byla zaměřena na čtení zadání a orientaci v periodické tabulce prvků, spolu se zaznamenáním protonového čísla. Správnou odpovědí byla protonová čísla argonu, dusíku a síry, tedy kód 18716 (viz Holec & Rusek, 2016). Vzhledem k charakteru úlohy bylo možné získat pouze 2 body za úplně správné řešení nebo žádný bod za špatné řešení.

Dva kamarádi chemici čekají, než se vydestiluje produkt jejich celodenního snažení. Čas si krátí hrou, která je podobná klasické přebíjené s kartami. V případě chemiků nevítězí karta s vyšší hodnotou, ale vyšší číslo získané různými matematickými operacemi s počtem prvků či protonovými čísly. Celou hru vyhraje ten, komu se podaří zvítězit ve větším počtu tahů.

Takto vypadala jejich hra:

I. tah

Karel: Součet protonových čísel všech kovů ve 2. periodě.

Tomáš: Součin protonových čísel dvou prvků s největší elektronegativitou.

II. tah

Tomáš: Počet prvků třetí periody, které vedou elektrický proud.

Karel: Počet plyných prvků druhé periody.

III. tah

Karel: Rozdíl protonových čísel posledního a prvního prvku 13. skupiny vedoucího teplo.

Tomáš: Součet protonových čísel prvků 15. skupiny nevedoucích elektrický proud.



[2]

Zakroužkujte možnost zachycující výsledek hry. Při řešení využijte periodickou tabulku prvků.

- a) vyhrál Karel
- b) vyhrál Tomáš
- c) výsledek je nerozhodný

Obrázek 11 Druhá úloha eye-trackingového měření

Ke druhé úloze bylo zapotřebí orientace v periodické tabulce prvků, přičemž žáci museli znát pojmy skupina a perioda a vlastnosti kovů, polokovů a nekovů. Poté porovnávání číselných výsledků jednotlivých tahů. Žáci si měli vybrat jednu ze tří možných odpovědí, přičemž správná odpověď byla C (viz Holec & Rusek, 2016). Vzhledem k výběru požadované odpovědi byla i zde hodnocena úloha jako úplně správně vyřešená či špatně vyřešená se ziskem 2 či 0 bodů.

S využitím periodické tabulky prvků vyřešte následující úkoly:

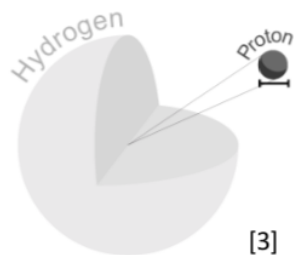
- I. Fluor je za běžných podmínek zelenožlutý plyn. Chlor je světle zelený plyn, brom je červenohnědá kapalina, jod je tmavě fialová pevná látka. *Napište, který další prvek patří do této skupiny, jakého je skupenství a jakou má barvu.*
- II. Při reakci lithia s vodou pozorujeme, že její průběh je pozvolný, sledujeme vznik vodíku. Při reakci uniká teplo. Při reakci sodíku s vodou je vznik vodíku patrnější, reakce je bouřlivější a silně exotermická.

Z nabídky vyberte možnosti popisující reakci draslíku s vodou a zakroužkujte je.

- a) Draslík s vodou nereaguje.
 - b) Draslík s vodou reaguje velmi bouřlivě.
 - c) Únik vodíku při reakci je pomalý, téměř nezatelný.
 - d) Reakce draslíku s vodou probíhá velice rychle.
 - e) Při reakci se spotřebovává značné množství tepla.
- III. Velikost atomu vyjadřujeme velikostí jeho poloměru. Obecným trendem pozorovatelným v periodické tabulce prvků je zvětšování atomového poloměru se vzrůstajícím protonovým číslem ve skupinách (dochází k přibývání elektronů a obsazování dalších vrstev elektronového obalu). Naopak mezi prvky v jednotlivých periodách se atomový poloměr se vzrůstajícím protonovým číslem snižuje (vlivem vzrůstajících přitažlivých sil elektronového obalu a jádra).

*Na základě těchto informací seřadte uvedené prvky podle velikosti **od největšího k nejmenšímu** a v tomto pořadí je napište.*

platina, měď, fosfor, sodík, vodík, kyslík



Obrázek 12 Třetí úloha eye-trackingového měření

V úloze na excelentní úrovni obtížnosti bylo úkolem žáků odpovědět na 3 podotázky. V první podotázce se jednalo o identifikaci astatu, jakožto zástupce skupiny halogenů a zároveň

vyvození jeho vlastností (použitím analogie ve skupině). Správnou odpovědí byl tedy astat a jeho vlastnosti (černá barva, pevné skupenství). Druhá část úlohy ukazovala na příkladu reakce alkalických kovů s vodou, přičemž měl žák vyvodit reakci draslíku. Za správnou odpověď v této části úlohy byl považován výběr tvrzení b), d). Poslední část třetí úlohy zahrnovala aplikaci trendů velikosti atomových poloměrů v tabulce. Jejím řešením bylo správné seřazení atomových poloměrů: Pt, Cu, Na, P, O, H (viz Holec & Rusek, 2016). Úplně správné řešení by znamenalo správné vyřešení všech částí úloh. Za částečně správné řešení byla považována alespoň polovina vyřešených, ostatní odpovědi byly hodnoceny jako chybně řešené.

3.5 Použitý přístroj a podmínky ke snímání a zaznamenávání pohybu očí

K záznamu pohybu očí byla použita oční kamera výrobce GazePoint, konkrétně *eye-tracker* GP3. Její frekvence záznamu je 60 Hz, přesnost je 0,5-1 ° vizuálního úhlu. Kamera byla připojena k počítači s obrazovkou o uhlopříčce 17" a rozlišením 1024x800, přičemž druhý připojený monitor byl využíván výzkumníkem pro kontrolu záznamu.

Používaným softwarem byla volně dostupná OGAMA (Open Gaze And Mouse Analyzer), ve verzi 5.0. Grafická podoba úloh (spolu s vložením periodické tabulky) byla vytvořena v softwaru a dvakrát zkušebně testována na studentech VŠ. Uspořádání pracovny je zachyceno na obrázku 13.



Obrázek 13 Uspořádání pracoviště

3.6 Průběh měření

Před podstoupením zaznamenávaného řešení úloh byl od rodičů každého žáka zajištěn souhlas se zpracováním údajů potřebných k analýze. Měření probíhalo v prostorách Pedagogické fakulty UK. V místnosti byl při měření přítomen vždy pouze výzkumník a žák, aby nedocházelo k rušení žáka. Před začátkem měření proběhla instruktáž. Žáci byli poučeni o průběhu kalibrace a průběhu měření. Pro jejich komfort proběhlo nastavení židle tak, aby seděli pohodlně, zároveň v dostatečné vzdálenosti od obrazovky. Své odpovědi zapisovali žáci na prázdný list papíru položený pod obrazovkou.

3.7 Analýza měření

Obě použité metody byly vyhodnocovány samostatně, jejich kombinací byl získán celkový přehled o postupu žáků při řešení problémových úloh.

3.7.1 Analýza TA

Protokoly myšlení nahlas byly zaznamenávány po vyplnění úloh. Žákům byl pro připomenutí jejich kroků souběžně promítán záznam jejich očních pohybů, *gaze replay*, ve dvojnásobné

rychlosti. Žáci byli předem instruováni a samostatně popisovali kroky vedoucí k jejich výsledku. Pokud došlo k tomu, že žák postup nedostatečně popsal, byl vyzván k dalšímu vysvětlení. Např.:

An: „Ta třetí, jo, ano.. # ... [čekání na záznam] tak našla sem si ten poloměr postupně těch prvků a který byly # nebo myslím, že šly postupně. Ty první dva si nejsem jistá, ale platina, měď, sodík, fosfor, kyslík a vodík.“

MT: „Jak ste na to přišla?“

An: „Tak třeba ten vodík a kyslík – vodík je víc vlevo a kyslík vpravo a níž, takže bude větší.“

Rozhovory byly přepsány, přičemž pro jména žáků jsou použity zkratky (viz předchozí příklad). MT jsou iniciály výzkumníka a označují jeho výroky. Rozhovory byly následně kódovány a analyzovány v programu Atlas.ti.

V tom byly k jednotlivým výroky žáků přiřazovány strategie, ale i problémy. Ty byly roztrženy do kategorií např. problémy se zadáním zahrnují „poupravení zadání i nepochopení zadání“ nebo „práce s dostupnými informacemi“ obsahuje jak „práci s tabulkou“, tak „práci se zadáním“.

Takto nakódované strategie a problémy jednotlivých žáků byly exportovány a rozděleny na strategie limitující, podporující, čtenářské a na problémy žáků.

3.7.2 Analýza ET

K analýze *eye-trackingového* záznamu byl využit videozáznam (*Gaze replay*), podle kterého byly přepisovány postupy žáků. Ty byly následně porovnávány s jejich popisem RTA. Pro získání povědomí o informacích, které žáci u jednotlivých úloh nejvíce či nejméně sledovali, bylo využito *attention* mapy každého žáka.

3.8 Výsledky žáků v testech

3.8.1 Vybraný vzorek žáků

Žáci byli vybíráni z obchodní akademie, oboru ekonomické lyceum. Pilotního testování se zúčastnilo 139 žáků přicházejících z celkem 87 základních škol Prahy, Středočeského a Libereckého kraje.

Tabulka 9 Vybraný vzorek žáků

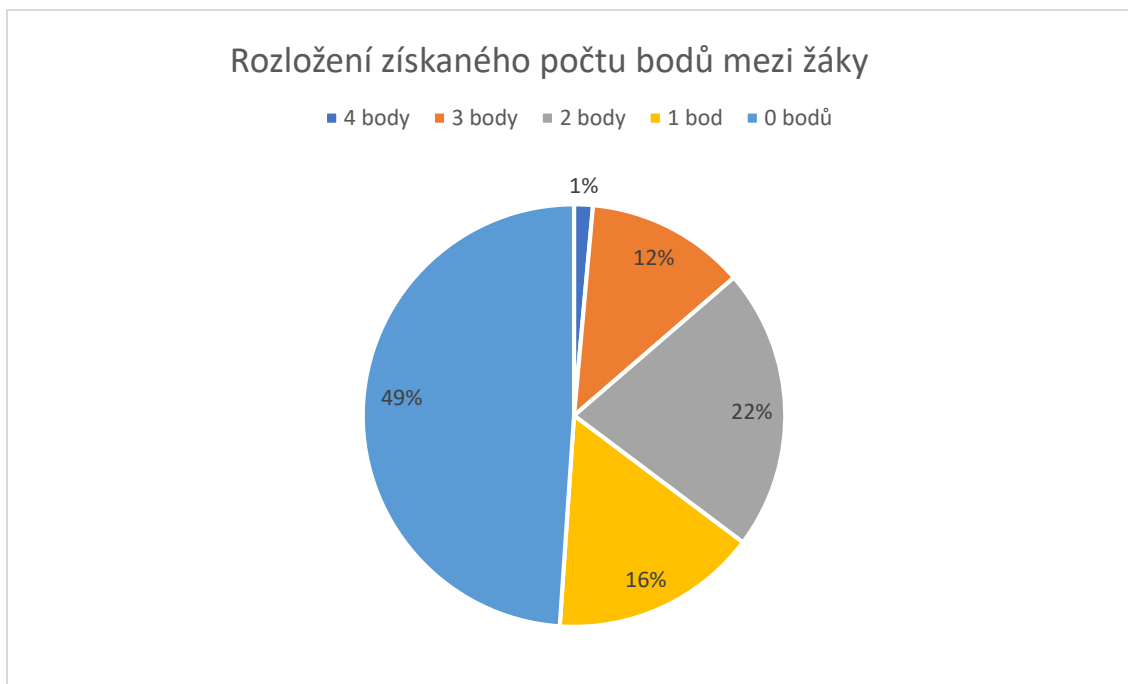
| ŽÁK | POČET BODŮ | NEŘEŠENÉ ÚLOHY | ZŠ | TŘÍDA |
|-----------|---------------|-----------------------|---------------------------|-------|
| M | 4 | 0 | Bítovská | 1.E |
| J | 3 | 0 | Bohumila Hrabala | 1.B |
| AX | 2 | Vysvětlení (2. úloha) | Náměstí Curieových | 1.C |
| K | 2 | 0 | Pod Marjánkou | 1.E |
| F | 1 | 0 | Dolní Břežany | 1.B |
| AN | 1 | 0 | Kamenice | 1.D |
| AG | 0 | 0 | Campanus | 1.F |
| O | 0 | 0 | Wagnerovo náměstí, Beroun | 1.C |

Tabulka 9 ukazuje charakteristiku vzorku respondentů. Každý žák vzorku přišel na SŠ z jiné ZŠ. Vzorek žáků také prostupuje všemi třídami ekonomického lycea v ročníku (žáci byli do tříd rozdělováni na základě výběru cizího jazyka). Vzorek zahrnoval pět chlapců a tři dívky.

3.8.2 Pretest

Nikdo z žáků ($N = 139$) nedosáhl maximálního počtu bodů (6). Nejvyšší dosažené skóre, kterého žáci dosáhli, byly čtyři body. Těch dosáhli dva žáci. Z tohoto důvodu byly skupiny žáků s nejvyšším počtem bodů (tři a čtyři body) sloučeny do jedné kategorie. Následně byli z každé kategorie vybráni dva žáci.

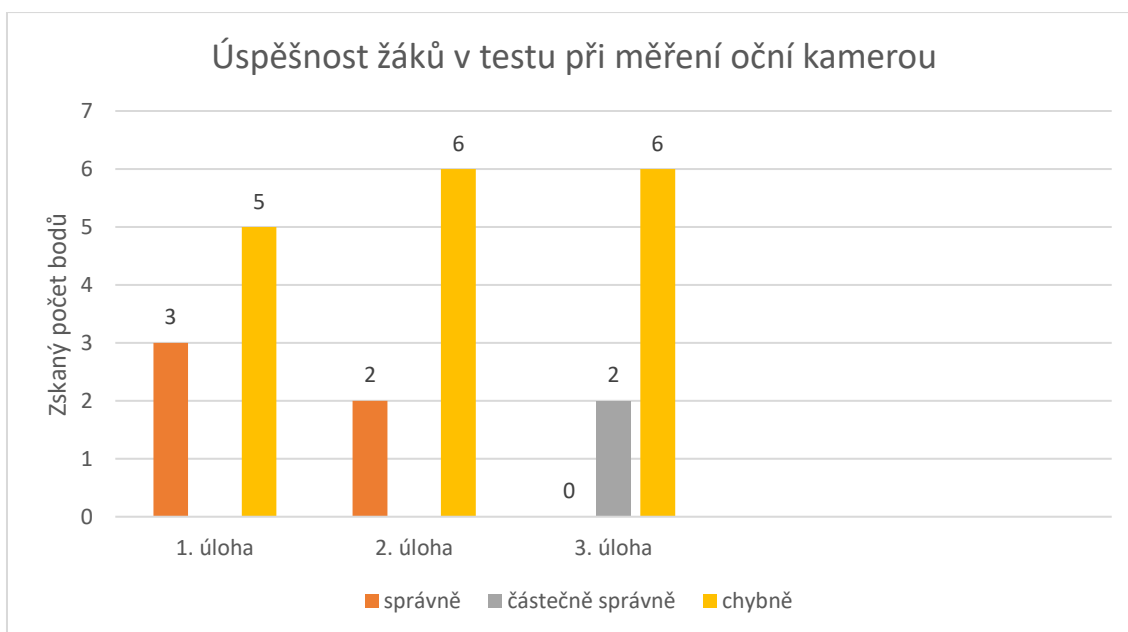
Jak vyplývá z grafu 1 celkem 49 % žáků nezískalo v pretestu žádný bod. Tato hodnota ležící mezi výsledky pilotního ověřování úloh, při které ve stejných úlohách v pilotáži Vojíře (2017) získalo 0 bodů pouze 18 % žáků a v ověřovacím průzkumu Korenekové (2018) 62 % testovaných. Jednoho bodu z celkových 6 dosáhlo 16 % žáků, což odpovídá i pilotnímu šetření (Vojíř, 2017), ve kterém se jednalo o 17 % žáků. Dvěma body bylo v pretestech ohodnoceno 22 % žáků (srov. Vojíř, 2017), u kterého dosáhlo stejného počtu bodů 31 % žáků. V testování Korenekové (2018) byla při řešení stejných úloh dvoubodová hranice maximem, kterého žáci dosahovali a jednalo se o 25 % testovaných žáků. Tři body v pretestu získalo 12 % žáků, srov. Vojíř (2017), v jehož výzkumu tohoto výsledku dosáhlo 17 % žáků. Na maximální čtyřbodové skóre pretestu dosáhlo pouze 1 % žáků, oproti 11 % testovaných žáků ve výzkumu Vojíře (2017). Další bodové hodnocení nebylo v pretestu zastoupeno.



Graf 1 Rozložení dosaženého skóre mezi testovanými žáky

3.8.3 Výzkumné měření

Ani při řešení úloh zaznamenávaném pomocí *eye-trackeru* nezískal žádný žák maximálního počtu šesti bodů. Úspěšnost žáků je uvedena v grafu 2.



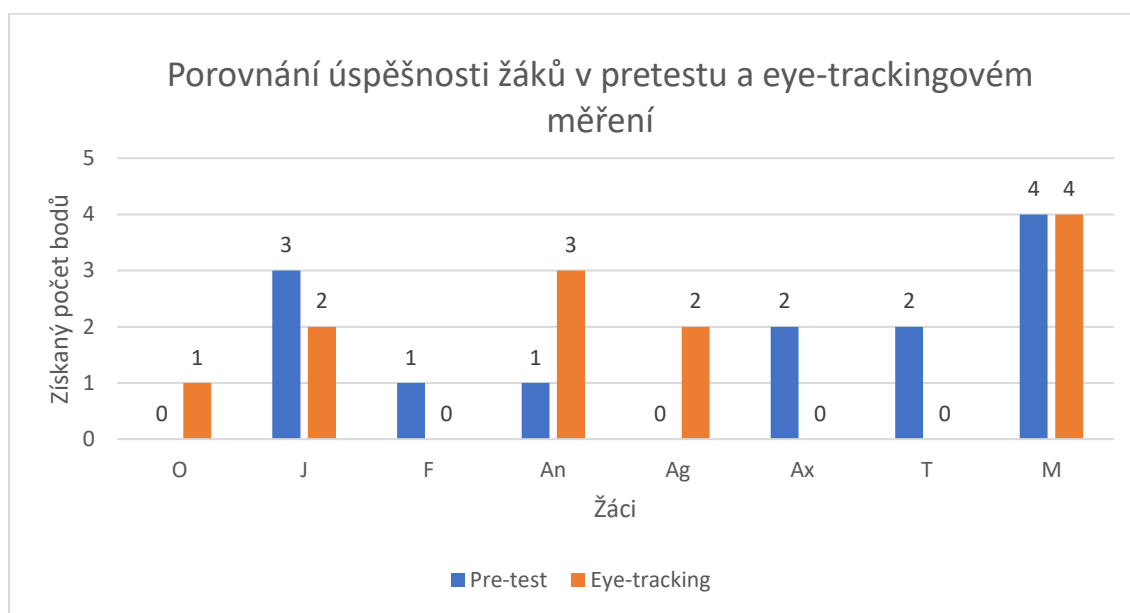
Graf 2 Úspěšnost žáků v ostrém měření

Získat jeden bod (za částečně správné řešení) bylo možné pouze ve třetí úloze, v níž částečně uspěli dva žáci. V ostatních úlohách bylo možné získat pouze 2 nebo 0 bodů (viz kapitolu Výběr úloh a jejich hodnocení). V úloze na minimální úrovni obtížnosti uspělo nejvíce žáků (3). Ve

druhé úloze (na optimální úrovni obtížnosti) vybrali správnou odpověď pouze 2 z 8 testovaných. Třetí úlohu na excelentní úrovni obtížnosti nevyřešil správně žádný žák, dva žáci vyřešili úlohu částečně správně.

3.8.4 Porovnání výsledků žáků v pretestu a výzkumném měření

Porovnání toho, jak vybraný vzorek žáků uspěl v pretestu a následném testu je shrnuto v grafu 3. Jak je zmíněno výše, v obou případech byl maximální počet dosažených bodů čtyři z možných šesti.



Graf 3 Porovnání výsledků žáků v pretestu a testu

Jak je z grafu 3 patrné, ve výsledcích není jasný trend. Žák O řešil druhý test o jeden bod lépe (částečně správně řešil třetí úlohu, excelentní úrovně obtížnosti). Podobný trend byl zaznamenán u žákyň An a Ag. U žáka J naopak skóre kleslo a žáci F, Ax a T ve druhém testu nezískali žádný bod. Jediný žák, u kterého se výsledek nezměnil a v obou případech získal nejvíce z dosažených bodů, byl žák M.

Tabulka 10 Školní úspěšnost vybraného vzorku žáků

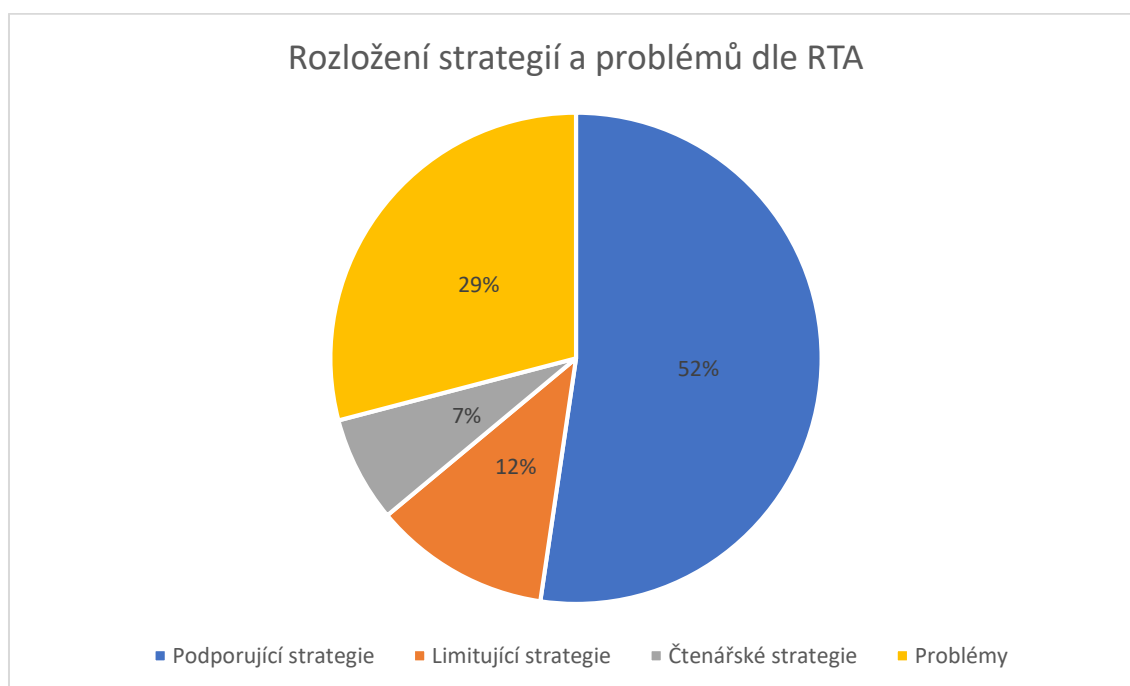
| Žák/yně | O | J | F | An | Ag | Ax | T | M |
|---|---|---|---|----|----|----|---|---|
| Školní úspěšnost (známka) k 1. pololetí | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 2 | 4 |

Jak zachycuje graf 3 a tabulka 10, mezi školní známkou a úspěšností žáka v testech není přímá souvislost. V pilotním šetření sice byl nalezen určitý vztah mezi známkami z chemie a úspěšností žáků v testu, podíly žáků, kteří v testech nezískali žádný bod však byly podobné napříč žáky různě školně hodnocenými, bez přímé vazby ke známce. Vojtíš (2017) přičítá tento rozdíl odlišnému druhu úloh (založených na textu a příkladech z běžného života). To se projevilo také v případě vzorku žáků v tomto výzkumu. Žák hodnocený známkou 4 získal v obou testech nejvíce bodů, zatímco žák jinak školně úspěšný (hodnocen známkou 1) získal v pretestu jeden bod a při *eye-trackingovém* měření již nezískal bod žádný.

Strategie, které byly žáky při řešení využívány jsou uvedeny v následujících kapitolách.

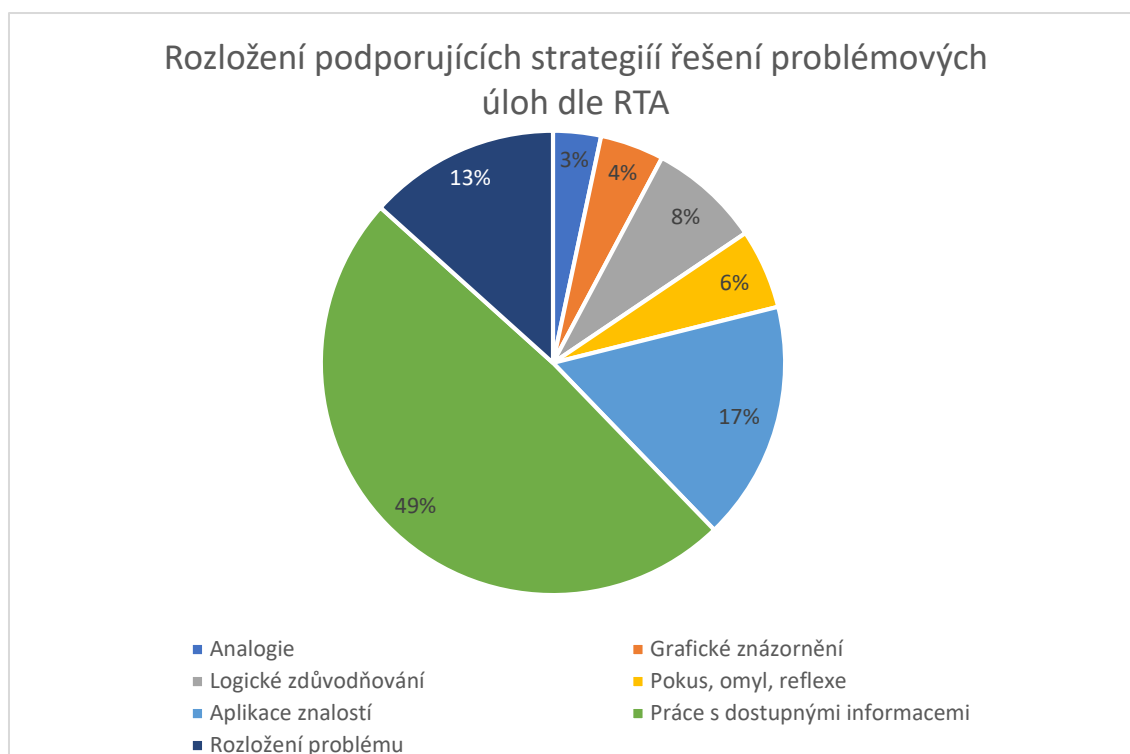
3.9 Používané strategie (analýza RTA)

V následujících grafech jsou zobrazeny podíly používaných strategií, které byly rozpoznávány na základě retrospektivního *think-aloud* žáků.



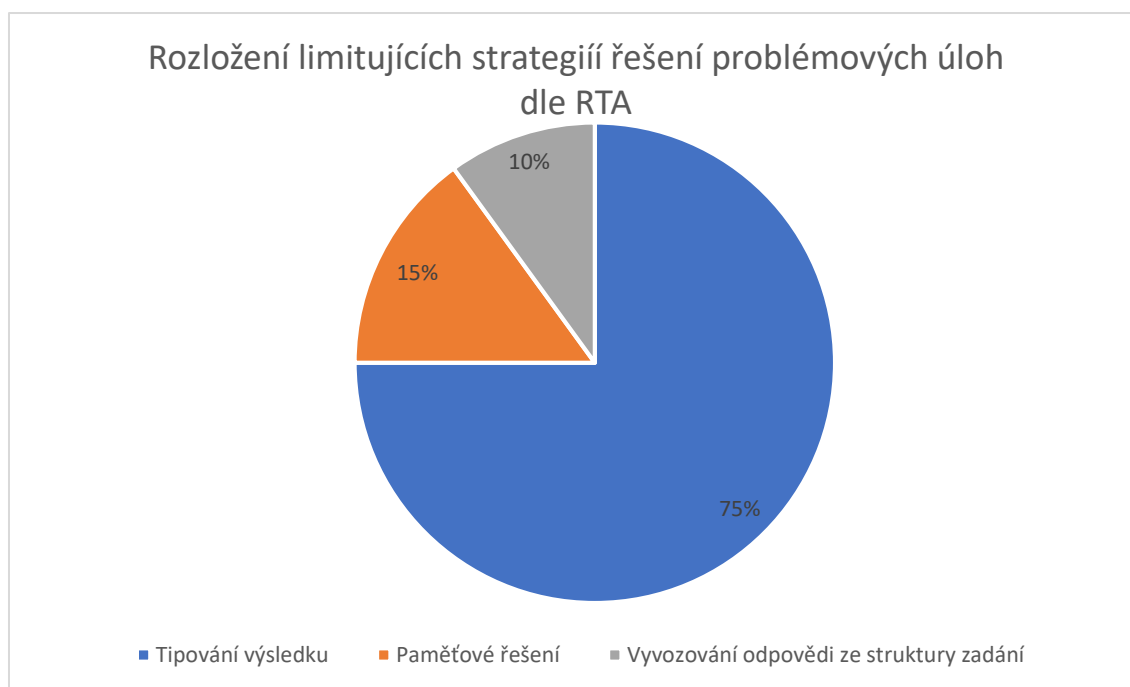
Graf 4 Rozložení strategií a problémů dle RTA

Žáci zmiňovali nejvíce strategií podporujících. Úspěšnost jejich aplikace však byla ovlivňována problémy, které zmiňovali ve 29 % jimi popisovaných strategií. Limitující strategie byly vyslovovány ve 12 % kódovaných případů. Čtenářské strategie žáci zmiňovali pouze v 7 %. Z rozboru záznamu oční kamery však vyplývá, že tyto strategie žáci využívali, pouze je při rozhovoru nezmiňovali.



Graf 5 Podporující strategie dle RTA

Z podporujících strategií převládala práce s dostupnými informacemi, kam bylo zahrnuto využívání periodické tabulky i informací dostupných v zadání. Druhou nejpoužívanější strategií byla aplikace nabytých znalostí. Rozložení problému bylo v RTA nalezeno ve 13 % kódovaných strategií. Další strategie byly žáky popisovány v menší míře, a to logické zdůvodňování, pokus, omyl, reflexe, kam bylo zařazeno testování odhadu a jeho následná úprava a nalezení vlastní chyby a práce s ní, grafické znázornění (jednalo se převážně o poznámky žáků při řešení) a aplikace znalostí, v tomto pořadí.



Graf 6 Rozložení limitujících strategií dle RTA

Ze strategií, které patří k limitujícím, žáci nejvíce tipovali. Pokud pouze netipovali, využívali strukturu zadání. Např:

Ax: „Tak tady opět hodně textu, hodně přečítání a nějak sem moc @nevěděl@, nevěděl úplně co čtu, až nějak po takových, nevím, tři minutách, což je docela dost dlouho.

ten první tah, druhý tah sem přečet jen jednou a potom sem tipl, že to vyhrál Karel.

MT: „A jak ste k tomu došel?“

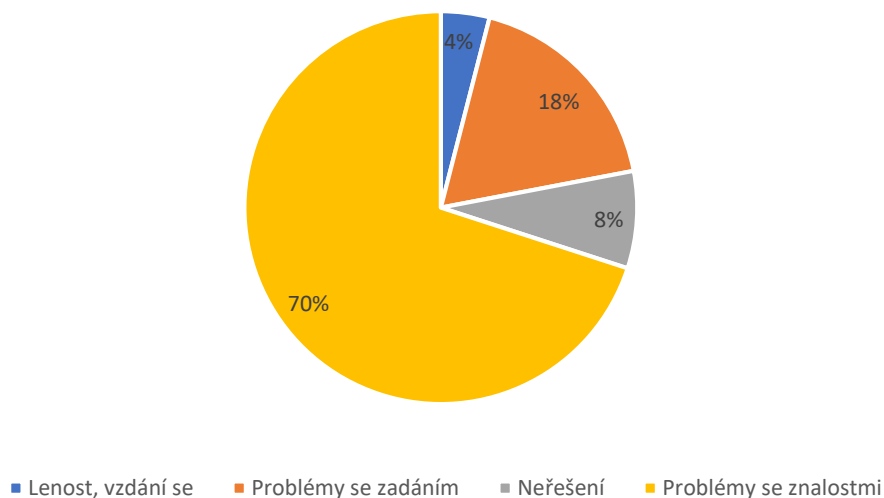
Ax: „Došel sem tak k tomu, že Karel byl první v tom prvním tahu a třetím tahu, tak sem to tipnul.“

MT: „A jak ste došel k tomu, že byl první v prvním a třetím tahu?“

Ax: <ukazuje na napsané jméno v úloze – v první a třetí úloze je jako první napsaný Karel a ve druhé je jako první napsaný Tomáš>

Část rozhovoru ukazuje druhou nejvíce zastoupenou strategii z kategorie limitujících. V nejmenším zastoupení se objevovalo paměťové řešení, které zde bylo zastoupeno, vzhledem k řešení stejné úlohy v pretestech.

Rozložení problémů při řešení úloh dle RTA



Graf 7 Problémy žáků dle RTA

Z grafu 7 je patrné, že největší problémy měli žáci se znalostmi. Tyto problémy často ovlivňovaly celkové řešení úloh, i přes použití správného postupu (viz popis řešení úloh). Druhé nejvyšší zastoupení mají problémy se zadáním, přičemž žáci zadání buď nepochopili anebo poupravili, což vyplývá z jejich interpretace zadání.

3.10 Kvalitativní popis řešení úloh žáky na základě propojení *eye-trackingu* a RTA

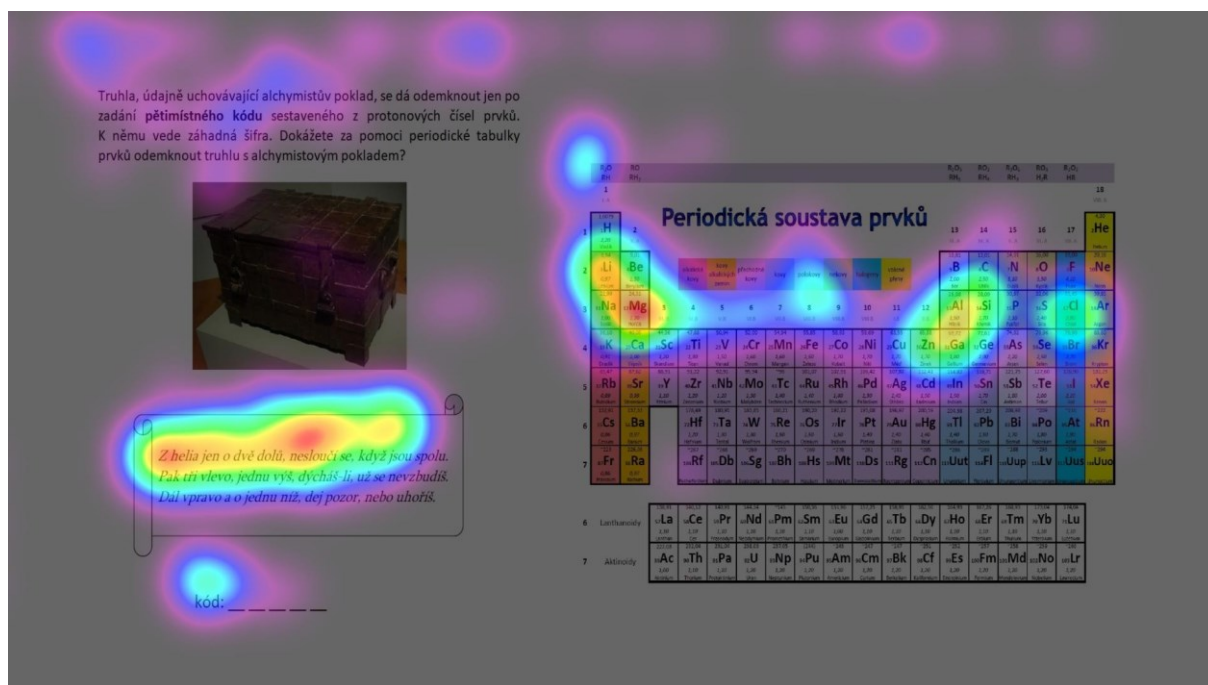
Postupy řešení jsou podobně jako u Hejnové a Kekule (2018) popisovány u jednotlivých žáků. Tyto postupy jsou porovnávány s popisem postupů jednotlivých žáků (RTA).

3.10.1 Žák Ax

Žák získal v pretestu dva body, ve druhém kole testování nezískal žádný bod.

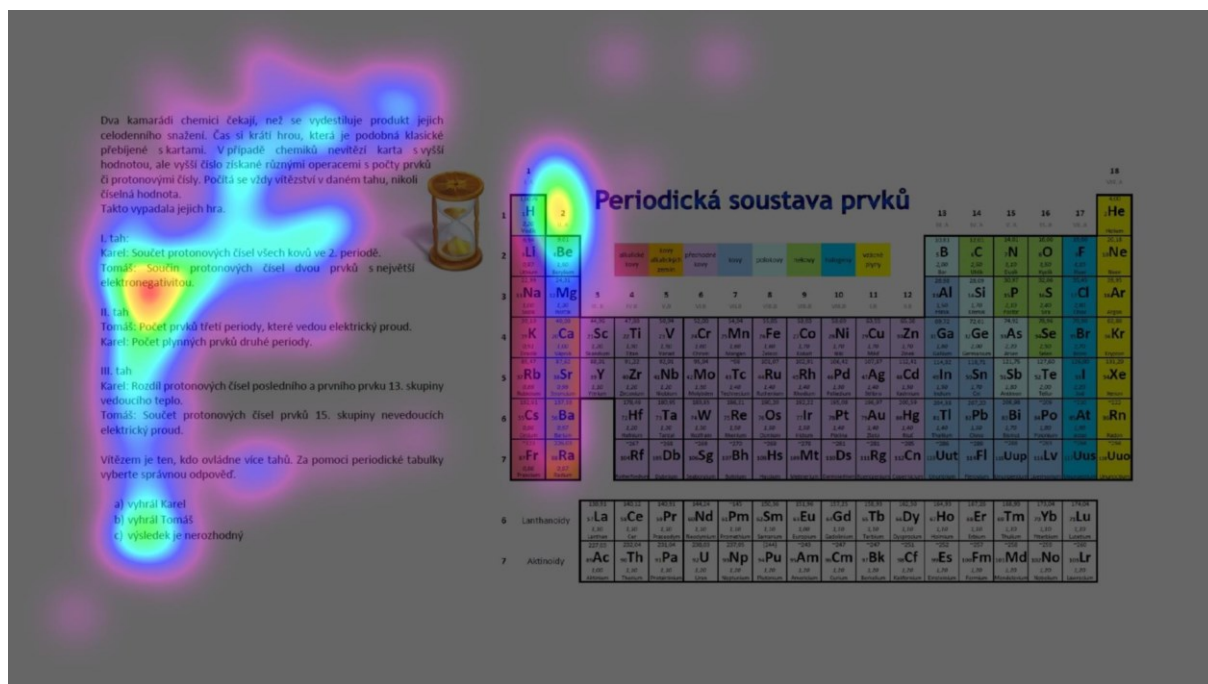
Žák hovoří o několikanásobném čtení úvodního textu zadání, zároveň však popisuje několikanásobné čtení pergamenu s básničkou, „*noo, hodněkrát sem si to předčítal, dokola, dokola, dokola a pak sem se snažil potom v té tabulce zjistit, kde je teda ten kód a # v průběh/ první to šlo celkem lehce, že jo, o dvě dolů, to nesloučí se... to už sem se ztratil a pak už sem nevěděl, tak sem to vzdal a napsal sem tam chlór.*“. Tomu odpovídá také záznam jeho očních pohybů. Z *eye-trackingového* záznamu lze vyvodit žakovu neznalost a špatnou orientaci v periodické tabulce. Žákova pozornost byla podstatně více soustředěna na část tabulky, která k řešení úlohy vůbec nebyla potřeba. To je uvedeno na obrázku 20. Je zde vidět, že žák věnuje pozornost první a druhé skupině periodické tabulky. Žák se během řešení několikrát vracel ke

sledování kódu (zadáni), přičemž sám hovoří o tom, že nerozklíčoval, které informace a jak má v úloze použít, i proto výsledek nakonec tipl. Na *attention* mapě řešené úlohy (Obr. 20) je zřetelný výběr chloru, jako náhodné odpovědi.



Obrázek 14 Attention map první úlohy žáka Ax

Žák při popisu postupu řešení druhé úlohy zmiňuje několikanásobné čtení zadání, což potvrzuje i *eye-trackingový* záznam. Zároveň však zmiňuje, že jeho postup zahrnoval pouze přečtení zadání prvního a druhého tahu, po kterém zvolil za vítěze Karla. Na *gaze* path žáka je však možné sledovat jeho snahu využít periodickou tabulku, avšak při řešení prvního tahu sledoval prvky druhé skupiny místo druhé periody. S podporou záznamu by v tomto případě mohla být analýza RTA doplněna o podporující strategie práce s tabulkou a určen také žákův problém, neznalost práce s tabulkou.



Obrázek 15 Attention map druhé úlohy žáka Ax

Při řešení třetí úlohy žák využíval převážně limitující strategii – tipování. Z rozhovoru s ním vyplývá, že jedinou částí, k jejímuž řešení se snažil využít podporující strategie byla první část, totiž nalezení astatu. K řešení dalších dvou dílčích úkolů úlohy žák využil limitující strategie, přičemž tabulku k těmto částem úlohy nevyužil. Jeho popisu odpovídá také *eye-trackingový* video záznam. Z *heat mapy* řešení této úlohy žákem (Obr. 22) také vyplývá využití PSP k vyřešení první podotázky. Fixace se tedy objevuje převážně v 17. skupině

Za pomoci periodické tabulky odpovězte na následující otázky.

I. Fluor je za běžných podmínek zelenožlutý plyn. Chlor je světlé zelený plyn, brom je červenohnědá kapalina, jod je tmavě fialová pevná látka. Který další prvek patří do této skupiny, jakého je skupenství a jakou má barvu?

II. Při reakci lithia s vodou pozorujeme, že její průběh je pozvolný, sledujeme vznik vodíku. Při reakci uniká teplo. Při reakci sodíku s vodou je vznik vodíku patrnější, reakce je bouřlivější a silně exotermická.

Z nabídky vyberte možnosti popisující reakci draslíku s vodou.

- Draslík s vodou nereaguje.
- Draslík s vodou reaguje velmi bouřlivě.
- Unik vodíku při reakci je pomalý, téměř nezatelný.
- Reakce draslíku s vodou probíhá velice rychle.
- Při reakci se spotřebává značné množství tepla.

III. Velikost atomu vyjadřujeme velikostí jeho poloměru. Ovlivňuje ji několik faktorů. Hlavním z nich je počet elektronů, a tím i počet vrstev obsazených elektronů, s tím souvisí i počet protonů v jádře atomu. Obecným trendem je zvětšování atomového poloměru ve skupinách – dochází k přibývání dalších vrstev elektronů. Naopak mezi prvky v jednotlivých periodách se atomový poloměr snižuje vlivem přitažlivých sil elektronového obalu a jádra.

Na základě těchto informací seřadte prvky podle velikosti **od největšího k nejmenšímu**:
platina, měď, fosfor, sodík, vodík, kyslík

Periodická soustava prvků

Obrázek 16 Attention map třetí úlohy žáka Ax

Jak bylo zmíněno u druhé úlohy, žák při popisu jejího řešení nehovořil o práci s tabulkou, kterou využíval, avšak nesprávně. Žákem uvedený postup by mohl být na základě analýzy záznamu rozšířen o práci s tabulkou a problém, neznalost.

Žák Ax nezískal v úlohách ani jeden bod. Je tedy hodnocen jako neúspěšný řešitel. Postupy, které uplatňoval zahrnovaly v nejvyšší míře (39 %) limitující strategie, a to tipování a vyvozování ze struktury zadání. Z podporujících strategií šlo zejména o práci s tabulkou, přičemž informace z ní vyčtené ne vždy správně aplikoval (např. *attention* mapu první úlohy na obrázku 20). Z důvodu žakových problémů (neznalost a nepochopení zadání) selhávaly i podporující strategie využívané žákem přibližně ve 20 % určených strategií.


3.10.2 Žákyně Ag

Žákyně získala v pretestu jeden bod, ve druhém kole testování tři body.

V první úloze využívala žákyně správného postupu. Opírala se o periodickou tabulku, ze které vyčetla potřebné hodnoty. Žákyně si přečetla zadání, v němž se soustředila na protonová čísla prvků v periodické tabulce. Využívala správných informací, což vypovídá o jejím porozumění

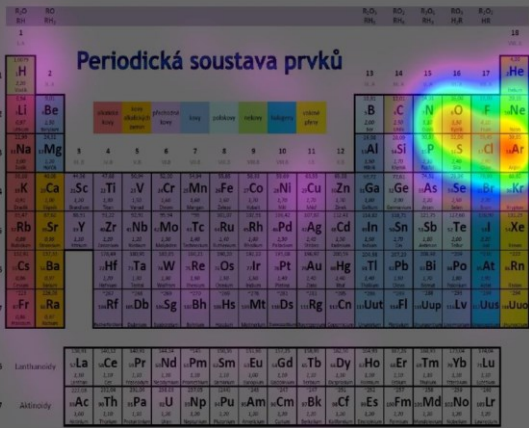
pojmu protonové číslo. *Eye-trackingový* záznam také vypovídá o její dobré orientaci v periodické tabulce prvků (fixace správných prvků).

Truhla, údajně uchovávající alchymistův poklad, se dá odemknout jen po zadání **pětimístného kódu** sestaveného z protonových čísel prvků. K němu vede záhadná šifra. Dokážete za pomoci periodické tabulky prvků odemknout truhlu s alchymistovým pokladem?



*Z helia jen o dvě dolů, nesloučí se, když jsou spolu.
Pak tři vlevo, jednu výš, dýcháš-li, už se nevzbudíš.
Dal vpravo a o jednu níž, dej pozor, nebo uhoříš.*

kód: _____



Obrázek 17 Attention map druhé úlohy žákyně Ag

Žákyně ve své výpovědi nezmiňovala opakované čtení zadání, a to jak zadání, tak básně na pergamenu. Při řešení nefixovala ilustrativní obrázek truhly, jehož přeskočení při rozhovoru také nezmínila. To lze charakterizovat jako využití podporující strategie.

Ve druhé úloze žákyně používala podporující strategie převážně práci s tabulkou, ze které potom využívala informace z legendy.

Dva kamarádi chemici čekají, než se vydestiluje produkt jejich celodenního snažení. Čas si krátí hrou, která je podobná klasické přebíjené s kartami. V případě chemiků nevítězí karta s vyšší hodnotou, ale vyšší číslo získané různými operacemi s počty prvků či protonovými čísly. Počítá se vždy vítězství v daném tahu, nikoli číselná hodnota. Takto vypadala jejich hra.

I. tah:
Karel: Součet protonových čísel všech kovů ve 2. periodě.
Tomáš: Součin protonových čísel dvou prvků s největší elektronegativitou.

II. tah:
Karel: Počet prvků třetí periody, které vedou elektrický proud.
Karel: Počet plynů prvků druhé periody.

III. tah:
Karel: Rozdíl protonových čísel posledního a prvního prvku 13. skupiny vedoucího tepla.
Tomáš: Součet protonových čísel prvků 15. skupiny nevedoucích elektrický proud.

Vítězem je ten, kdo ovládne více tahů. Za pomoci periodické tabulky vyberte správnou odpověď.

a) vyhrál Karel
b) vyhrál Tomáš
c) výsledek je nerozhodný

Periodická soustava prvků

Obrázek 18 Attention map druhé úlohy žákyně Ag

Postup žákyně zahrnoval správné kroky vedoucí za jiných podmínek ke správnému řešení. Pro úspěch řešení ji však omezoval nedostatek znalostí. Rozprostření fixací po téměř celé tabulce z důvodu neznalosti způsobilo delší hledání prvků s nejvyšší elektronegativitou. Navíc žákyně zvolila chybné prvky:

Ag: „Potom měl Tomáš něco, Tomáš měl součin protonových čísel dvou prvků s největší (elektroneg/) ble, elektronegativitou. No tak sem si vzala prvky úplně jako ty poslední a nějaký ty ú ú es a ú ú ó, no a sečetla sem ty, teda vynásobila sem sto sedmnáct a stoosmnáct a to bylo osmnáct tisíc, teda třináct tisíc sedm set osmdesát šest. A tak to byl ten jeho součin.“

Hledání hodnot elektronegativit prvků zmíněných žákyní je podloženo delší fixací těchto prvků v záznamu z *eyetrackeru*.

Dokladem znalostních problémů žákyně je, že ze špatných hodnot dílčích výsledků vyvodila nesprávnou odpověď a).

Ani třetí úlohu žákyně nevyřešila správně. Ke správnému řešení byla potřeba znalost trendů v periodické tabulce (viz Holec & Rusek, 2016). Jejich neznalost mohla být příčinou nesprávného vyřešení úlohy. V první části úlohy žákyně sledovala správné prvky, určila další prvek 17. skupiny, avšak neznalost ovlivnila správnost odpovědi týkající se barvy a skupenství astatu.

Ag: „No, protože byl ten první plyn, další byl ... počkat... taky plyn, a potom kapalina, a potom tam byla jakože pevná látka, tak sem to zase vzala od plynu. No anebo jakože halogenidy sou skoro vždycky plyny, tak proto.“

Na druhou část úlohy žákyně aplikovala správný postup. Roli ve špatné odpovědi hrálo nepochopení či neznalost pojmu *exotermický*.

Ag: „A druhý úkol ten sem řešila, jakože to litium bylo docela jakože pozvolně, ten průběh byl pozvolnej, ale bylo vidět vznik vodíku a u toho sodíku ten byl jakože bouřlivější než to litium a silně exotermický, tak sem si potom řekla, že ten draslík bude eště silnější, byl jakože pod tim, takže maj stejný nebo podobný vlastnost. Jakože pod tim litiem a sodíkem. Tak sem si řekla, že bude teda tak že bude teda reagovat velmi bouřlivě a potom, že reakce s vodou bude probíhat velice rychle a že při reakci se spotřebovává značné množství tepla.“

MT: „Jak ste na to přišla?“

Ag: „No, jakože jak to je prostě takový, jak to je bouřlivý hodně, tak to musí taky bejt. Teda to litium taky mělo nějaký teplo a maj podobný vlastnosti, tak tady bude taky to značné množství tepla.“

Za pomoci periodické tabulky odpovězte na následující otázku.

I. Fluor je za běžných podmínek zelenožlutý plyn. Chlor je světle zelený plyn, brom je červenohnědá kapalina, jod je tmavě fialová pevná látka. Který další prvek patří do této skupiny, jakého je skupenství a jakou má barvu?

II. Při reakci lithia s vodou pozorujeme, že její průběh je pozvolný, sledujeme vznik vodíku. Při reakci uniká teplo. Při reakci sodíku s vodou je vznik vodíku patrnější, reakce je bouřlivější a silně exotermická.

Z nabídky vyberte možnosti popisující reakci draslíku s vodou.

- Draslík s vodou nereaguje.
- Draslík s vodou reaguje velmi bouřlivě.
- Únik vodíku při reakci je pomalý, téměř nezatelný.
- Reakce draslíku s vodou probíhá velice rychle.
- Při reakci se spotřebovává značné množství tepla.

III. Velikost atomu vyjadřujeme velikostí jeho poloměru. Ovlivňuje ji několik faktorů. Hlavním z nich je počet elektronů, a tím i počet vrstev obsazených elektrony. S tím souvisí i počet protonů v jádře atomu. Obecným trendem je zvětšování atomového poloměru ve skupinách – dochází k přibývání dalších vrstev elektronů. Naopak mezi prvky v jednotlivých periodách se atomový poloměr snižuje vlivem přitažlivých sil elektronového obalu a jádra.

Na základě těchto informací seřaďte prvky podle velikosti **od největšího k nejmenšímu**:
platina, měď, fosfor, sodík, vodík, kyslík

Periodická soustava prvků

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|
| 1 | 2 | | | | | | | | | | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | |
| 1 | H | He | | | | | | | | | | | | | | | | | He |
| 2 | Li | Be | | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne | |
| 3 | Na | Mg | | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar | |
| 4 | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | |
| 5 | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | |
| 6 | Cs | Ba | | | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| 7 | Fr | Ra | | | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Cn | Uut | Fl | Uup | Lv | Uus | Uuo |
| 6 | Lanthanoidy | | La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | | |
| 7 | Aktinoidy | | Ac | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr | | |

Obrázek 19 Attention map třetí úlohy žákyně Ag

Ve třetí části úlohy žákyně chybně interpretovala zadání, což vedlo k celkovému nesprávnému seřazení prvků dle jejich atomového poloměru.

Ze všech strategií, které žákyně při řešení využívala, mají největší zastoupení, téměř 80 % podporující strategie, ze kterých využívala hlavně: rozložení problému, aplikaci znalostí, vyhledání principu fungování, logické zdůvodňování a práci s dostupnými informacemi. Žákyně v rozhovoru přímo nezmínila čtenářské strategie, které je však možné pozorovat na *gaze videu* řešení úloh, a to ve všech třech případech řešení.


Přes to, že žákyně nevyužívala limitujících strategií, vyřešila správně pouze první úlohu. V testu tak získala dva body z možných šesti. Podporující strategie vedly ke správnému řešení pouze v první úloze, přičemž jejich aplikace v dalších úlohách byla omezena neznalostí a nesprávným pochopením zadání.

3.10.3 Žákyně An

V pretestu získala žákyně jeden bod, ve druhém kole testování tři body.

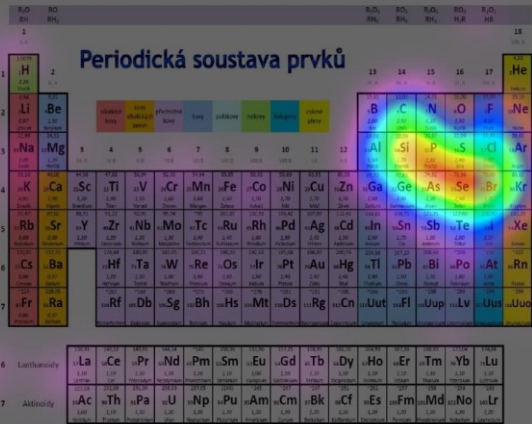
Žákyně při řešení první úlohy využívala podporující strategii práce s tabulkou, přičemž ji však ovlivnilo nepochopení zadání. Při popisu postupu žákyně nezmínila přeskočení obrázku s truhlou, což může být zařazeno do podporujících strategií. Jak zachycuje *attention* mapa na obrázku 26, žákyně se věnovala údajům potřebným k vyřešení úkolu. Odpověď žákyně však zněla *křemík*, ačkoli v zadání bylo přímo napsáno, že výsledkem je „pětimístný kód sestavený z protonových čísel prvků“. Výsledek byl tedy ovlivněn problémy žákyně s dočtením a porozuměním zadání úlohy, a to jak s úvodním zadáním, tak s pochopením básně na pergamenu.

Truhla, údajně uchováající alchymistův poklad, se dá odemknout jen po zadání **pětimístného kódu** sestaveného z protonových čísel prvků. K němu vede záhadná šifra. Dokážete za pomoci periodické tabulky prvků odemknout truhlu s alchymistovým pokladem?



Z helia jen o dvě dolů, neslouč se, když jsou spolu.
Pak tři vlevo, jednu výš, dýcháš-li, už se nezbudíš.
Dál vpravo a o jednu níž, dej pozor, nebo uhoříš.


kód: _____



Obrázek 20 Attention map první úlohy žákyně An

Žákyně ve druhé úloze aplikovala převážně limitující strategie. Přes to používala i některé podporující strategie, při řešení se například opírala o periodickou tabulku prvků.

Dva kamarádi chemici čekají, než se vydestiluje produkt jejich celodenního snažení. Čas si kráti hrou, která je podobná klasické přebíjece skartami. V případě chemiků neruší kartu vyšší hodnotou, ale vyšší číslo získané různými operacemi s počty prvků či protonovými čísly. Počítá se vždy vítězství v daném tahu, nikoli číselná hodnota. Takto vypadala jejich hra.




I. tah:
Karel: Součet protonových čísel všech kovů ve 2. periodě.
Tomáš: Součin protonových čísel dvou prvků s největší elektronegativitou.

II. tah:
Tomáš: Počet prvků třetí periody, které vedou elektrický proud.
Karel: Počet plynných prvků druhé periody.

III. tah:
Karel: Rozdíl protonových čísel posledního a prvního prvku 13. skupiny vedoucího tepla.
Tomáš: Součet protonových čísel prvků 15. skupiny nevedoucího elektrický proud.

Vítězem je ten, kdo ovládne více tahů. Za pomoci periodické tabulky vyberte správnou odpověď.

a) vyhrál Karel
b) vyhrál Tomáš
c) výsledek je nerozhodný



Obrázek 21 Attention map druhé úlohy žákyně An

Na druhou úlohu odpověděla žákyně správně, jednalo se však o aplikaci limitující strategie.

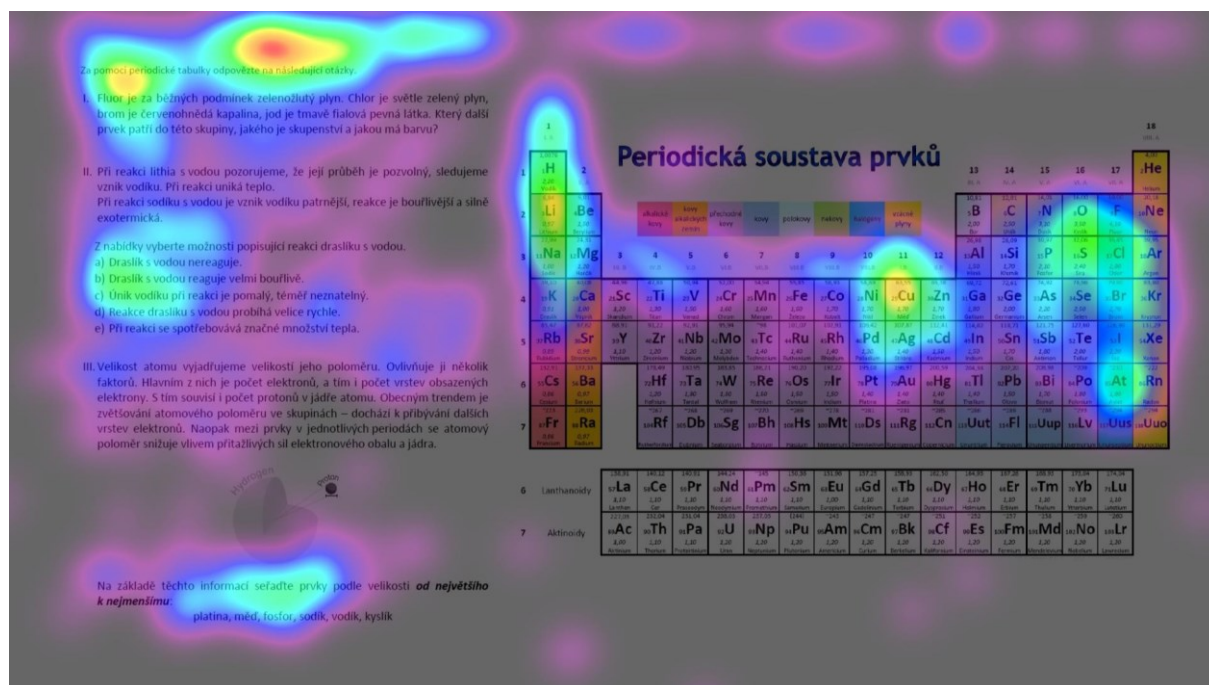
Žákyně ve své výpovědi sdělila, že její výsledek pramení z jejích výpočtů. Po dotazování výzkumníka na přesnější postup, žákyně přiznala, že využila limitující strategie – tipování. Po dalších dotazech se ukázal i problém žákyně – neznalost.

An: „# vyšel mi výsledek. V prvním bylo napsáno součet všech kovů ve druhé periodě. A pak ty, co vedou proud.“

MT: „A ty ste zjistila jak?“

An: „To sem věděla a něco sem si tipla“

Ve třetí úloze žákyně odpověděla částečně správně, a to i přes problémy, které se u ní vyskytovaly.



Obrázek 22 Attention map třetí úlohy žákyně An

Žákyně v první části úlohy odpověděla správně astat, skupenství i barvu však uvedla chybně. Když byla při RTA vyzvána k odůvodnění své volby, objevily se problémy se zadáním a neznalost. Žákyně argumentovala tím, že halogeny jsou kapalné prvky, i přes to, že v zadání je napsáno skupenství jednotlivých prvků (F, Cl, Br, I).

An: „# Tu první úlohu, to sem nevěděla barvu, ale věděla sem skupinu a jaký je to prvek, vyšel mi astat a kapalné skupenství.“

MT: „Proč si to myslíte?“

An: „Protože všechny ty prvky jsou kapalné.“

Ve druhé části třetí úlohy žákyně využila limitující strategii – tipování, její tip byl správný.

Třetí část úlohy vyřešila žákyně správně, i zde se však objevil problém s interpretací zadání.

An: „*Ta třetí, jo, ano. # ... [čekání na GazeReplay] tak našla sem si ten poloměr postupně těch prvků a který byly # nebo myslím, že šly postupně. Ty první dva si nejsem jistá, ale platina, měď, sodík, fosfor, kyslík a vodík.*“

MT: „*Jak ste na to přišla?*“

An: „*Tak třeba ten vodík a kyslík – vodík je víc vlevo a kyslík vpravo a níž, takže bude větší.*“

Žákyně argumentovala tím, že pokud je kyslík víc vpravo, bude větší, což lze charakterizovat jako změněnou informaci ze zadání.


Z analýzy *gaze videa* byly z používaných, žákyní nezmiňovaných strategií zaznamenány čtenářské strategie, a to opakované čtení zadání, dále vynechání nepodstatných informací. Žákyně sice používala ve značné míře (50 % případů) podporující strategie. Ty ale nevedly ke správným úvahám. Přes poměrně značné problémy týkající se znalosti a problému se zadáním, vedly limitující strategie žákyně (převážně tipování) ke druhému nejvyššímu dosaženému skóre (tři body) v testu.

3.10.4 Žák F

Žák získal v prvním kole testování jeden bod, ve druhém kole žádný bod.

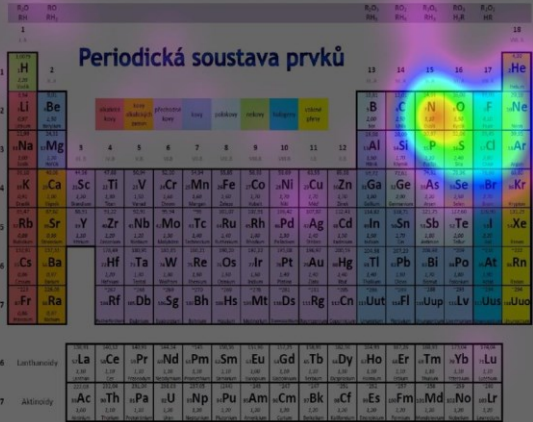
První úlohu žák rychle přečetl, aby se v ní lépe orientoval, čemuž odpovídá i jeho výpověď po řešení úloh. Také jeho komentář „*Možná na tý obrazovce hodně přeskakuju, sem takovej netrpělivej, jakože si to moc nepamatuju, takže sem skákal jakože z textu na text a snažil sem se.*“ odpovídá realitě. (Mezi textem a tabulkou přeskočil sedmnáctkrát.) Žákův popis práce se nijak výrazně nevychyloval od očního záznamu, který jím popisovaný postup pouze podpořil. Žák úlohu řešil správným postupem. Neznalost pojmu protonové číslo a jeho záměna s hodnotou elektronegativity prvku však vedla k nesprávnému řešení. Na *heat* mapě řešení úlohy je vidět, že nejvyšší pozornost věnoval básni (legendě) a potřebným částem tabulky.

Truhla, údajně uchováající alchymistův poklad, se dá odemknout jen po zadání pětimístného kódu sestaveného z protonových čísel prvků. K němu vede záhadná šifra. Dokážete za pomoci periodické tabulky prvků odemknout truhlu s alchymistovým pokladem?



Z helia jen o dvě dolů, nesloučí se, když jsou spolu.
Pak tři vlevo, jednu vyš, dýcháš-li, už se nevzbudíš.
Dál správo a o jednu níž, dej pozor, nebo uhoříš.

kód: _____



Obrázek 23 Attention mapa první úlohy žáka F

Také ve druhé úloze odpovídá žákův popis několikanásobného čtení s jeho retrospektivním myšlením nahlas. Žák nebyl schopen odůvodnit výběr prvků, se kterými pracoval (viz přepis TA)

F: ## No tak sem se prostě podle toho, jak se tam vzaly ty prvky, tak sem se je snažil hledat a nějak sem to se snažil vypočítat.

MT: A čím ste se řídil?

F: No prostě sem vzal ty dva prvky a snažil sem se.

MT: A jak ste poznal, s kterými máte počítat?

F: No jako, tak podle toho, co sem si přečet, tak sem si vydedukoval, který to snad by mohly být. Tak doufám, že sem to nějak snad správně...

I z eye-trackingového záznamu vyplývá žákova neschopnost orientace v tabulce. Pro vyřešení by měl žák v prvním tahu sledovat kovy ve druhé periodě (lithium a beryllium), přičemž se žák po zhlédnutí legendy, která ukazovala rozdělení prvků na alkalické kovy, kovy alkalických zemin, přechodné kovy, polokovy, nekovy, halogeny a vzácné plyny, zaměřil pouze na beryllium. Ve druhém tahu měl vynásobit protonová čísla kyslíku a fluoru, tyto prvky dle záznamu sledoval, z jeho odpovědi vyplývá, že jejich hodnoty správně neidentifikoval.

Druhý tah vyžadoval pozorování třetí a druhé periody. V tomto případě se žák do třetí periody nepodíval.

Třetí tah se týkal 13. a 15. skupiny. Žák sice v průběhu řešení obě tyto skupiny sledoval, přes to však bez schopnosti zdůvodnění, které prvky je do výsledku potřeba započítat.

The image shows a screenshot of a chemistry-themed game interface. On the left, there is a text box with the following content:

Dva kamarádi chemici čekají, než se vydestiluje produkt jejich celodenního snažení. Čas si krátí hrou, která je podobná klasické přebíjené skartami. V případě chemiků nevládní karta s vyšší hodnotou, ale vyšší číslo získané různými operacemi s počty prvků či protonovými čísly. Počítá se vždy vítězství v daném tahu, nikoli číselná hodnota. Takto vypadala jejich hra.

I. tah:
Karel: Součet protonových čísel všech kovů ve 2. periodě.
Tomáš: Součin protonových čísel dvou prvků s největší elektronegativitou.

II. tah:
Tomáš: Počet prvků třetí periody, které vedou elektrický proud.
Karel: Počet plyných prvků druhé periody.

III. tah:
Karel: Rozdíl protonových čísel posledního a prvního prvku 13. skupiny vedoucího tepla.
Tomáš: Součet protonových čísel prvků 15. skupiny nevedoucích elektrický proud.

Vítězem je ten, kdo ovládne více tahů. Za pomoci periodické tabulky vyberte správnou odpověď.

a) vyhrál Karel
b) vyhrál Tomáš
c) výsledek je nerozhodný

On the right, there is a periodic table titled "Periodická soustava prvků". The table is color-coded by groups: alkali metals (red), alkaline earth metals (orange), transition metals (yellow), post-transition metals (green), metalloids (blue), nonmetals (purple), and noble gases (pink). The elements are labeled with their symbols and names in Czech. The table is divided into two sections: the main body and the lanthanides/actinides at the bottom.

Obrázek 24 Attention map druhé úlohy žáka F

I ve třetí úloze žák zmínil několikanásobné čtení zadání, *eye-trackingový* záznam ukazuje čtení každé části úkolů v úloze alespoň čtyřikrát. Počet čtení zadání má klesavou tendenci od prvního úkolu v úloze, ke kterému se řešitel obrátil desetkrát, oproti třetí části, při které se ke čtení zadání uchýlil čtyřikrát.

Ve třetí úloze žák využíval podporující strategie, převážně práci s tabulkou, kterou však nedokázal aplikovat, kvůli neznalosti trendů v PSP.

Přes neschopnost použití znalosti trendů v PSP v první části úlohy, tuto znalost ve druhé podotázce aplikoval správným způsobem.

F: „Protože mi to dávalo smysl, že když ... protože když sou ve stejné skupině, tak sem si myslel, že budou mít podobný reakce a jelikož první bylo litium, to bylo pozvolný, pak sodík, to bylo

bouřlivější, tak sem si myslel, že draslík bude ještě víc bouřlivější a probíhá velmi rychle, protože když byla ta první, probíhala pozvolna...“

Ve třetí části úlohy žák pracoval s údaji v zadání. V této části žáka ve správném řešení omezil problém. Nedokázal rozklíčovat, zda má větší atomový poloměr prvek více vlevo v tabulce či prvek níže, za to vpravo položený.

Za pomoci periodické tabulky odpovězte na následující otázky.

I. Fluor je za běžných podmínek zelenožlutý plyn. Chlor je světle zelený plyn, brom je červenohnědá kapalina, jod je tmavě fialová pevná látka. Který další prvek patří do této skupiny, jakého je skupenství a jakou má barvu?

II. Při reakci lithia s vodou pozorujeme, že její průběh je pozvolný, sledujeme vznik vodíku. Při reakci uniká teplo. Při reakci sodíku s vodou je vznik vodíku patrnější, reakce je bouřlivější a silně exotermická.

Z nabídky vyberte možnosti popisující reakci draslíku s vodou.

- Draslík s vodou nereaguje.
- Draslík s vodou reaguje velmi bouřlivě.
- Unik vodíku při reakci je pomalý, téměř nezatelný.
- Reakce draslíku s vodou probíhá velice rychle.
- Při reakci se spotřebává značné množství tepla.

III. Velikost atomu vyjadřujeme velikostí jeho poloměru. Ovlivňuje ji několik faktorů. Hlavním z nich je počet elektronů, a tím i počet vrstev obsazených elektrony. S tím souvisí i počet protonů v jádře atomu. Obecným trendem je zvětšování atomového poloměru ve skupinách – dochází k přibývání dalších vrstev elektronů. Naopak mezi prvky v jednotlivých periodách se atomový poloměr snižuje vlivem přitažlivých sil elektronového obalu a jádra.

Na základě těchto informací seřaďte prvky podle velikosti **od největšího k nejmenšímu**:
platina, měď, fosfor, sodík, vodík, kyslík

Obrázek 25 Attention map třetí úlohy žáka F

Žákův popis používaných strategií odpovídá *eye-trackingovému* záznamu jeho řešení.

Přes to, že nejpočetnější zastoupení při žákově řešení měly podporující strategie (50 %), je žák nevyužíval v souladu se zadáním, jelikož ho ovlivňovaly problémy převážně znalostního charakteru. Chybně použitou podporující strategií může znázornit část rozhovoru.

F: „No a prostě sem postupoval dolů a došel sem až k tomuhle prvku a myslím si, že je to oranžová, protože každé ten prvek měl jinou barvu a jediná, která tam nebyla z té periodický tabulky, tak byla oranžová, tak sem dal oranžovou. <čekání na GazeReplay>“

Tyto problémy se jeví jako důvod žákova neúspěchu (zisk nuly bodů) při řešení úloh. Z limitujících strategií žák využíval tipování výsledku.

3.10.5 Žák J

Žák J získal v pretestu tři body, ve druhém kole testování získal dva body.

V první úloze postupoval žák správně. Využíval podporující strategie. Žák zmiňoval také nalezení vlastní chyby a práci s ní:

J: # Tak nejdřív sem si to přečet tohle, ten nadpis, to zadání, pak sem přečet tohle <básničku>. A mezitím sem stihl zapomenout, že ten kód má bejt v protonovejch číslech, že jo, takže sem tady hledal ten název, že jo, ty názvy, místo toho, abych hledal ty protonový čísla a nějak mi to nevycházelo, aby to bylo pětimístný. No a pak sem si to přečet znova a viděl sem tam to, že to musí bejt z protonovejch čísel a pak sem to vyřešil.

Tento popis koresponduje s jeho gaze videem. Kam žák směřoval svou pozornost zobrazuje heat mapa na obrázku 32.

Truhla, údajně uchovávající alchymistův poklad, se dá odemknout jen po zadání **pětimístného** kódu sestaveného z protonových čísel prvků. K němu vede záhadná šifra. Dokážete za pomoci periodické tabulky prvků odemknout truhlu s alchymistovým pokladem?

*Z helia jen o dvě dolů, nesloučí se, když jsou spolu.
Pak tři vlevo, jednu výš, dýcháš-li, už se nevzbudíš.
Dál vpravo a o jednu níž, dej pozor, nebo uhoříš.*

kód: _____

Periodická soustava prvků

Obrázek 26 Attention map první úloha žáka J

Žákem použité strategie vedly ke správnému vyřešení první úlohy.

I ve druhé úloze žák zmiňuje strategie, které byly zaznamenány na videu. V tomto případě využíval převážně limitujících strategií, a to vyvozování ze struktury zadání. Tomu odpovídá i větší pozornost věnovaná textu než periodické tabulce, viz obrázek 33.

Dva kamarádi chemici čekají, než se vydestiluje produkt jejich celodenního snažení. Čas si krátí hrou, která je podobná klasické přebíjené s kartami. V případě chemiků nevítězí karta s vyšší hodnotou, ale vyšší číslo získané různými operacemi s počty prvků či protonovými čísly. Počítá se vždy vítězství v daném tahu, nikoli číselná hodnota. Takto vypadala jejich hra.

I. tah:
Karel: Součet protonových čísel všech kovů ve 2. periodě.
Tomáš: Součin protonových čísel dvou prvků s největší elektronegativitou.

II. tah:
Karel: Počet prvků třetí periody, které vedou elektrický proud.
Karel: Počet plyných prvků druhé periody.

III. tah:
Karel: Rozdíl protonových čísel posledního a prvního prvku 13. skupiny vedoucího teplo.
Tomáš: Součet protonových čísel prvků 15. skupiny nevedoucích elektrický proud.

Vítězem je ten, kdo ovládne více tahů. Za pomoci periodické tabulky vyberte správnou odpověď

a) vyhrál Karel
b) vyhrál Tomáš
c) výsledek je nerozhodný

Periodická soustava prvků

Obrázek 27 Attention map druhé úlohy žáka J

Používání limitujících strategií vyplývá i z RTA žáka.

MT: „& U těch dalších tahů ste eště taky nějak rozhodoval?“

J: „No jasný, to sem spíš uvažoval logicky než že bych to nějak počítal. Snažil sem se to nějak prostě vyvodit spíš z těch slov <rozdíl, součet, počet>“

Žák v tomto případě nedošel ke správnému řešení úlohy. Ve třetí úloze žák využíval podporující strategie, které však nevedly ke správnému řešení úlohy. Dle informací z oční kamery se žák v tabulce zaměřoval na relevantní informace pro vyřešení úlohy. Přesto vedly problémy žáka (neznalost) k nesprávnému řešení.

Za pomoci periodické tabulky odpovězte na následující otázky.

I. Fluor je za běžných podmínek zelenožlutý plyn. Chlor je světlé zelený plyn, brom je červenohnědá kapalina, jod je tmavě fialová pevná látka. Který další prvek patří do této skupiny, jakého je skupenství a jakou má barvu?

II. Při reakci lithia s vodou pozorujeme, že její průběh je pomalý, sledujeme vznik vodíku. Při reakci unika teplo. Při reakci sodíku s vodou je vznik vodíku patrnější, reakce je bouřlivější a silně exotermická.

Z nabídky vyberte možnosti popisující reakci draslíku s vodou.

- a) Draslík s vodou nereaguje.
- b) Draslík s vodou reaguje velmi bouřlivě.
- c) Únik vodíku při reakci je pomalý, téměř nezatelný.
- d) Reakce draslíku s vodou probíhá velice rychle.
- e) Při reakci se spotřebovává značné množství tepla.

III. Velikost atomu vyjadřujeme velikostí jeho poloměru. Ovlivňuje ji několik faktorů. Hlavním z nich je počet elektronů, a tím i počet vrstev obsazených elektronů. S tím souvisí i počet protonů v jádře atomu. Obecným trendem je zvětšování atomového poloměru ve skupinách – dochází k přibývání dalších vrstev elektronů. Naopak mezi prvky v jednotlivých periodách se atomový poloměr snižuje vlivem přitažlivých sil elektronového obalu a jádra.

Na základě těchto informací seřadte prvky podle velikosti **od největšího k nejmenšímu**:
platina, měď, fosfor, sodík, vodík, kyslík

Periodická soustava prvků

Obrázek 28 Attention map třetí úlohy žáka J

Ve třetí části úlohy žák správně interpretoval zadání (viz část přepisu RTA), přesto však neseřadil prvky správně.

J: „...*jo a pak velikost, tak to sem si zas přečet tu trojku # no a pak sem si no... prostě sem si dycky hledal kterej atom, teda kterej prvek je víc vlevo a dole a podle toho sem si to nějak seřadil jako, kterej je nejblíž levýmu dolnímu kraji.*“

Z možných šesti bodů získal žák dva body, a to za úplné správné vyřešení první úlohy. Největší zastoupení mají v jeho řešení podporující strategie, ze kterých žák využíval nejvíce práci s dostupnými informacemi (tabulkou či zadáním), logické zdůvodňování, aplikaci znalostí a nalezení vlastní chyby a práci s ní. Z limitujících strategií se jednalo o vyvozování ze struktury zadání a tipování. Problémy, se kterými se žák potýkal, se týkaly neřešení části úlohy a neznalosti.

3.10.6 Žák M


Žák M získal v pretestu i druhém kole testování čtyři body.

Při řešení první úlohy využíval žák podporujících strategií, přičemž se setkal i s problémem (neznalost), který však díky údajům v tabulce a zadání překonal, podporující strategie tak vedly ke správnému řešení.

M: „*Ted' sem se chvilku sem se koukal na ty prvky, napsal sem si čísla nahoře <relativní atomová hmotnost>, ale to mi vyšlo šest čísel a ten kód je pětimístnej, takže sem se rozhodl, že*

to je to číslo hned vedle toho čísilka, teda těch písmenek <protonové číslo>. Hledal sem á er, dusík, síru.“

Truhla, údajně uchováající alchymistův poklad, se dá odemknout jen po zadání pětimístného kódu sestaveného z protonových čísel prvků. K němu vede záhadná šifra. Dokážete za pomoci periodické tabulky prvků odemknout truhlu s alchymistovým pokladem?



Z helia jen o dvě dolů, nesloučí se, když jsou spolu.
Pak tři vlevo, jednu výš, dýcháš-li, už se nevzbudíš.
Dál vpravo a o jednu níž, dej pozor, nebo uhoříš.

kód: _____

Periodická soustava prvků

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|----|
| 1 | 2 | | | | | | | | | | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | |
| 1 | H | 2 | | | | | | | | | | | 3 | B | C | N | O | F | Ne |
| 2 | Li | Be | | | | | | | | | | | 4 | Al | Si | P | S | Cl | Ar |
| 3 | Na | Mg | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
| 4 | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | |
| 5 | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | |
| 6 | Cs | Ba | | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn | |
| 7 | Fr | Ra | | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Cn | Uut | Fl | Uup | Lv | Uus | Uuo | |
| 6 | Lanthanoidy | | La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | | |
| 7 | Aktinoidy | | Ac | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr | | |

Obrázek 29 Attention map první úlohy žáka M

Na *heat mapě* řešené úlohy (Obr. 35) je vidět žakovu soustředěnost na prvky, kterých se týkalo zadání (Ar, N, S). Vysvětlením fixací i na dalších místech periodické tabulky může být žakova neznalost konceptu protonového čísla, kvůli které porovnával hodnoty v celé tabulce.

M: „...snažil sem se najít jakékoliv detail, aby mi pomohl najít, co je to vlastně protonový číslo ...“

Při řešení druhé úlohy využíval žák převážně limitujících strategií, a to: tipování a paměťového řešení úlohy. Žák v počátku zmiňoval kurzorické čtení (prohlédnutí celé úlohy). Přičemž podotknul, že po zorientování se v úloze a zjištění, že k jejímu vyřešení jsou zapotřebí protonová čísla prvků se žák rozhodl, že úlohu řešit nebude.

M: „No, takže nejdřív sem si to zase přečet, vo čem ten text je a potom sem se na to jaksi nedal. Ta periodická tabulka tady byla trochu zbytečná, protože stále nevím to protonový číslo ...“

Dva kamarádi chemik čekají, než se vydestiluje produkt jejich celodenního snažení. Čas si krátí hrou, která je podobná klasické přebíjení s kartami. V případě chemiků nevítežní karta s vyšší hodnotou, ale vyšší číslo získané různými operacemi s počty prvků či protonovými čísly. Počítá se vždy vítězí v daném tahu, nikoli číselná hodnota. Takto vypadala jejich hra.

I. tah:
Karel: Součet protonových čísel všech kovů ve 2. periodě.
Tomáš: Součin protonových čísel dvou prvků s největší elektronegativitou.

II. tah:
Karel: Počet prvků třetí periody, které vedou elektrický proud.
Karel: Počet plynů prvků druhé periody.

III. tah:
Karel: Rozdíl protonových čísel posledního a prvního prvku 13. skupiny vedoucího tepla.
Tomáš: Součet protonových čísel prvků 15. skupiny nevedoucích elektrický proud.

Vítězem je ten, kdo ovládne více tahů. Za pomoci periodické tabulky vyberte správnou odpověď.

a) vyhrál Karel
b) vyhrál Tomáš
c) výsledek je nerozhodný

Periodická soustava prvků

Obrázek 30 Attention mapa druhé úlohy žáka M

Na *heat mapě* (Obr. 36) je však zřetelné, že žák periodickou tabulku používal, snažil se s ní tedy v úloze nějak pracovat. Na výzvu výzkumníka popisoval žák práci s periodickou tabulkou takto:

M: „## první bylo vyhrál Karel nebo Tomáš nebo výsledek je nerozhodný a jako nejlepší mi přišlo, že výsledek je nerozhodný, protože sem byl líný trošku to počítat. Takže výsledek nerozhodný, to doufám, že mám dobře v tom si věřím.“

MT: „Já sem viděla, že ste něco počítal.“

M: „Noooo, jako pokusil sem se vo to, no, to bych potom zjistil., noo #“ Pokusil sem se počítat součet protonových prvků ... neee, to ne.. součin protonových prvků dvou čísel s největší elektronegativitou. K tomu sem došel, ale to je tak všechno. Takže v tomhle tahu rozhodně vyhrál Tomáš. To bylo hrozně velký číslo, jestli to mám špatně, to nevadí, to už asi ani počítat neumím, takže vod začátku bylo vidět, že Karel prohrál, to bylo jasné.

Žák se při řešení potýkal s problémy, které zahrnovaly již zmíněnou neznalost a neřešení úlohy bez udání důvodu či lenosti.

M: „## první bylo vyhrál Karel nebo Tomáš nebo výsledek je nerozhodný a jako nejlepší mi přišlo, že výsledek je nerozhodný, protože sem byl líný trošku to počítat.“

Heat mapa také zobrazuje klesající tendenci čtení zadání, čemuž odpovídá i žákův popis řešení úlohy.

M: „*Ve druhym tahu, to nevim ani ted' co to je. Počet prvků třetí perody, které vedou elektrický proud, noo, tak to sem rád, že sem to nepočítal.*“

Žák se na základě relativně vysoké pravděpodobnosti správného odhadnutí výsledku uchýlil k limitující strategii – tipování.

M: „*Po nějaký chvíli sem se kouknul na odpovědi a zjistil sem, že je to á, bé, cé, což je šance jedna ku třem, což je dobrá šance.*“

Skutečnost, že žák zvažoval možnost volby je vidět i na jeho časté fixaci výběru odpovědí, viz obrázek 36.

Také ve třetí úloze volil žák limitující strategie, což vyplývá z popisu jeho postupu řešení. V první podotázce využíval žák podporující strategie, a to práce s tabulkou, úspěšnost těchto strategií byla však ovlivněna problémem – neznalostí viz část rozhovoru níže.

M: „*tak sem vybral astat a nejtěžší pro mě bylo abych zjistil jaký to má skupenství a barvu, tak sem došel k tomu, že je to pevný, nevim proč, abych řekl pravdu, sem na to tak koukal, asi špatně, ale to nevadí.*“

MT: „*Jak ste k tomu došel?*“

M: „*Tipnul, proč? Je to správně?*“

MT: „*To Vám říct nemůžu.*“

M: „*No taklenc, já sem, abych řek pravdu to úplně netipnul, ale došel sem k tomu tak, že sem, nevim proč, ale tady v tý druhý řádce, nevim jak se tomu říká, ale to je jedno, tam je jakoby uhlík a pak tam je dusík, no ale u kyslíku. Vim, že kyslík je plyn a flór je taky plyn, to tam je napsaný. A chlór je taky plyn, tak sem si řekl, že když sou vedle sebe takhle, ve stejný tý řádce, tak sem si našel něco, co znám z tady tý šestý řádky a našel sem tam zlato“*

Přes špatné odůvodnění zvolil žák správné skupenství. Jedná se tedy o falešně pozitivní výsledek.

Za pomoci periodické tabulky odpovězte na následující otázku.

I. Fluor je za běžných podmínek zelenožlutý plyn. Chlor je světle zelený plyn, brom je červenohnědá kapalina, jod je tmavě fialová pevná látka. Který další prvek patří do této skupiny, jakého je skupenství a jakou má barvu?

II. Při reakci lithia s vodou pozorujeme, že její průběh je pomalý, sledujeme vznik vodíku. Při reakci uniká teplo. Při reakci sodíku s vodou je vznik vodíku patrnější, reakce je bouřlivější a silně exotermická.

Z nabídky vyberte možnosti popisující reakci draslíku s vodou.

- a) Draslík s vodou nereaguje.
- b) Draslík s vodou reaguje velmi bouřlivě.
- c) Únik vodíku při reakci je pomalý, téměř nezatelný.
- d) Reakce draslíku s vodou probíhá velice rychle.
- e) Při reakci se spotřebovává značné množství tepla.

III. Velikost atomu vyjadřujeme velikostí jeho poloměru. Ovlivňuje ji několik faktorů. Hlavním z nich je počet elektronů, a tím i počet vrstev obsazených elektrony. S tím souvisí i počet protonů v jádře atomu. Obecným trendem je zvětšování atomového poloměru ve skupinách – dochází k přibývání dalších vrstev elektronů. Naopak mezi prvky v jednotlivých periodách se atomový poloměr snižuje vlivem přitažlivých sil elektronového obalu a jádra.

Na základě těchto informací seřaďte prvky podle velikosti **od největšího k nejmenšímu**:
platina, měď, fosfor, sodík, vodík, kyslík

Obrázek 31 Attention mapa třetí úlohy žáka M

Obrázek 37 zobrazuje fixace žáka v 17. skupině, což bylo součástí první části úlohy. Ve druhé části žák zmiňuje limitující strategii – tipování. *Eye-trackingový* záznam ukazuje, že se s tabulkou snažil pracovat a zaměřit se na ni, z rozhovoru však vyplývá neschopnost interpretace dat z tabulky.

M: „...po chvílce sem ho našel, ale bylo to zbytečný, teda myslím, teda možná to jako někomu nebude zbytečný, ale pro mě to bylo úplně zbytečný, tak sem dal, že to bude éčko, protože ta odpověď se mi líbila úplně nejvíc...“

V poslední části úlohy ovlivnilo žákův výsledek nepochopení zadání, přičemž pracoval místo s informacemi ze zadání a seřazení prvků dle atomového poloměru s protonovými čísly prvku.

M: „a pak sem šel na třetí úlohu platina, měď fosfor, sodík, vodík kyslík, to má pod sebou zas nějaký to čísílko, tak sem ty čísílka seřadil vod nejvyššího po nejmenší. A to doufám dopadlo dobře, nejhorsí teda bylo to hledání samozřejmě.“

Žákem popisované strategie by po vyhodnocení *eye-trackingového* záznamu je možné tyto strategie doplnit o strategie čtenářské - několikanásobné čtení zadání. Ačkoliv téměř polovinu žákem využívaných strategií zahrnovaly strategie podporující, tyto skutečně vedly k řešení pouze v první úloze. Další dva body získal díky využití strategií limitujících.

Žák získal za řešení celkem čtyři body. Problémy, které žáka při řešení úloh provázely, se týkaly znalostí a neřešení části úlohy.

3.10.7 Žák O

V pretestu nezískal žák žádný bod, ve druhém kole testování jeden bod za částečně vyřešenou třetí úlohu.

V první úloze žák zmínil několikanásobné čtení, zároveň podporující strategii nalezení vlastní chyby a práce s ní, viz RTA.

O: „# nejdřív sem si splet že vodík s heliem, @takže sem nejdřív koukal sem@ <ukazuje na značku vodíku v periodické tabulce> a pak až sem koukal tady... “


Žákovu záměnu vodíku a helia zobrazuje také *heat mapa* na obrázku 38.

Přes správný postup byl žákův výsledek ovlivněn nepochopením zadání. Žák četl zadání pouze jednou (oproti básni na pergamenu), to mohlo být příčinou přehlédnutí informace, že výsledkem má být číselný kód.

Zároveň žák spletl počet prvků, o které se měl při řešení úlohy posunout, zaměřil se proto na nesprávné prvky.

O: „...a když tady bylo o dvě dolů, tak sem vlastně přešel na ten argon a pak sem si myslel jako o tři jako doleva, tak sem přešel na ten fosfor, ale pak když tam bylo o jednu výš, tak vlastně kyslík že jo dýcháš-li už se nevzbudíš. Takže sem si dal kyslík a dál vpravo a o jednu níž, tak sem teda sem skončil na chloru a dal sem teda výsledek chlór.“

Truhla, údajně uchováající alchymistův poklad, se dá odemknout jen po zadání pětimístného kódu sestaveného z protonových čísel prvků. K němu vede záhadná šifra. Dokážete za pomoci periodické tabulky prvků odemknout truhlu s alchymistovým pokladem?



Z helia jen o dvě dolů, nesloučí se, když jsou spolu.
Pak tři vlevo, jednu výš, dýcháš-li, už se nevzbudíš.
Dál vpravo a o jednu níž, dej pozor, nebo uhoříš.

kód: _____

Periodická soustava prvků

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|---|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | | |
| 1 | H | He | | | | | | | | | | | Li | Be | B | C | N | O | F | Ne |
| 2 | Li | Be | | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne | | |
| 3 | Na | Mg | | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar | | |
| 4 | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | | |
| 5 | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | | |
| 6 | Cs | Ba | | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn | | |
| 7 | Fr | Ra | | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Cn | Uut | Fl | Uup | Lv | Uus | Uuo | | |
| 8 | Lanthanoids | | La | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | | | |
| 9 | Actinoids | | Ac | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lr | | | |

Obrázek 32 Attention mapa první úlohy žáka O

Žákův popis řešení druhé úlohy odpovídá *gaze videu* snímanému při jeho řešení.

Úlohu žák četl opakovaně, o čemž sám hovořil. Po několikanásobném čtení žák pracoval s tabulkou. Hledal protonová čísla prvků ve druhé periodě. Čísla si v průběhu zaznamenával na list papíru, který zároveň využíval k výpočtům v úloze. Periodickou tabulku žáka v úspěšném využívání podporující strategie limitovaly problémy, převážně neznalost. V prvním tahu správně určil prvky s nejvyšší elektronegativitou. U těchto prvků je na *heat mapě* možné zaznamenat žakovu zvýšenou pozornost (viz obrázek 39).

O: „... a pak sem si četl toho Tomáše a dělal sem teda ten součin protonových čísel dvou prvků s největší elektronegativitou takže sem se zase # tady pak sem si našel kyslík že jo a flór, ten sem si dal jako že má největší (tu). # to sem teda řešil tady sem si ještě všechny ty prvky kontroloval, jestli to není tady nebo uprostřed a tak ... (20 s pauza) To sem dělal trochu dýl no...“

Dva kamarádi chemici čekají, než se vydestiluje produkt jejich celodenního snažení. Čas si krátí hrou, která je podobná klasické přeházení s kartami. V případě chemiků nevítězí karta s vyšší hodnotou, ale vyšší číslo získané různými operacemi s počty prvků či protonovými čísly. Počítá se vždy vítězství v daném tahu, nikoli číselná hodnota. Takto vypadala jejich hra.

I. tah:
Karel: Součet protonových čísel všech kovů ve 2. periodě.
Tomáš: Součin protonových čísel dvou prvků s největší elektronegativitou.

II. tah:
Karel: Počet prvků třetí periody, které vedou elektrický proud.
Karel: Počet plyných prvků druhé periody.

III. tah:
Karel: Rozdíl protonových čísel posledního a prvního prvku 13. skupiny vedoucího tepla.
Tomáš: Součet protonových čísel prvků 15. skupiny nevedoucích elektrický proud.

Vítězem je ten, kdo ovládne více tahů. Za pomoci periodické tabulky vyberte správnou odpověď.

a) vyhrál Karel
b) vyhrál Tomáš
c) výsledek je nerozhodný

Periodická soustava prvků

The periodic table is color-coded by groups: alkali metals (red), alkaline earth metals (orange), transition metals (green), lanthanides (blue), actinides (purple), metalloids (yellow), nonmetals (light green), and noble gases (dark green). The attention map highlights the following elements and groups: H, He, Li, Be, B, C, N, O, F, Ne, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ar, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Fr, Ra, Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr.

Obrázek 33 Attention mapa druhé úlohy žáka O

Žák používal podporující strategie práce s tabulkou i při řešení druhého tahu. I zde ho limitovala neznalost vlastností kovů, jak ukazuje část RTA.

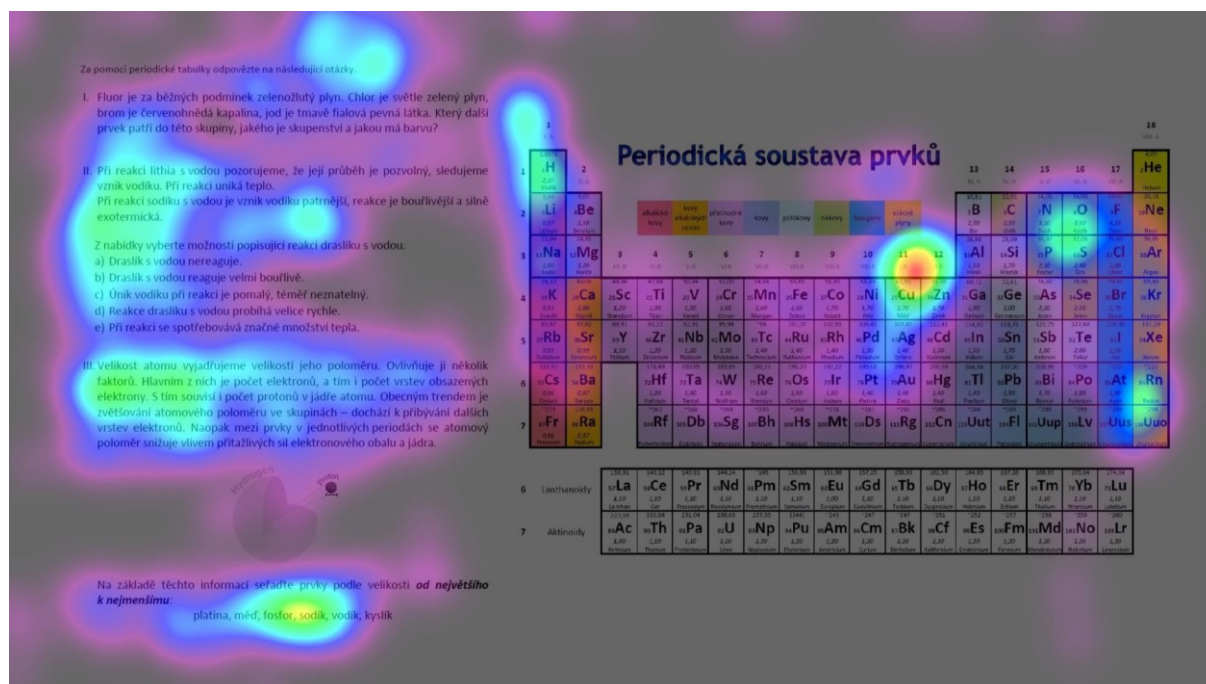
O: „...tam bylo počet prvků třetí periody, které vedou elektrický proud, takže sem si našel třetí periodu aaa.. Dopisoval sem si ten elektrický proud, což je, jo počkej, jo, takže tady sem si dal všechny kromě toho argonu, protože ten tam neměl ten elektrický proud <ukazuje na elektronegativitu>, takže sem si... takže jich bylo sedm to sem si zase zaznamenával potom na papír...“

Žák si při řešení této úlohy postupně zaznamenával údaje nalezené v tabulce. Z částečných výsledků však nebyl schopen vyvodit závěr a celkovou odpověď nakonec vyvodil z limitující strategie, tipování.

O: „a vyšel mi teda ten Tomáš. A určoval sem to asi podle toho # ... no, @že sem to jako tipnul, no@, ale myslím si prostě, že je to Tomáš.“

Žák využíval podporující strategie práce s dostupnými informacemi i ve třetí úloze. V první části úlohy zvolil správný postup. Další podporující strategií byla aplikace znalostí, a to skupenství astatu. Barvu žák nevěděl, přičemž se ji nesnažil vyvodit, a tak úplnou správnost úlohy ovlivnil žákův problém s řešením.

Ve druhé části žák aplikoval paměťové řešení. Z jeho výpovědi vyplývá, že periodickou tabulku k řešení nepoužíval. *Gaze video* ukazuje pozorování tabulky, konkrétně první skupiny, právě po přečtení druhé části úlohy. To, že žák prvky sledoval dokládá i *heat mapa* na obrázku 40.



Obrázek 34 Attention mapa třetí úlohy žáka O

Přes využití několikanásobného čtení zadání třetí části úlohy, ovlivnil žáka problém při řešení (nepochopení zadání) a nevyužití podporující strategie (práce se zadáním). Žák odpovídal zcela v rozporu se zadáním, viz přepis RTA.

O: „Pak u trojky, to sem si zase přečetl ještě jednou celý zadání a pak sem měl na základě těchto informací seřadit prvky podle velikosti od největšího k nejmenšímu, a to sem dělal tak, že jsem si vyhledal Platínu, která je # musím ji najít zase ... jo, tady <ukazuje na Pt> takže ta má tady bylo nahoře nad ní číslo sto devadesát pět celých nula osm.“


Celkové žákovo skóre v testu bylo jeden bod za částečně správně vyřešenou třetí úlohu. Nejvyšší zastoupení (50 %) měly při řešení podporující strategie. Po rozklíčování *gaze* videa se podporující strategie dále rozšiřují o práci s tabulkou, kterou žák v rozhovoru nezmiňoval. Žáka však ovlivňovaly problémy, kvůli kterým byly strategie nesprávně využity. Mezi problémy, které žáka při řešení doprovázely patří převážně neznalost a nesprávný postup, dále pak nepochopení či poupravení zadání.

3.10.8 Žákyně T

Žákyně dle jejího popisu i *eye-trackingového* záznamu zvolila postup vedoucí ke správnému řešení. Avšak vyskytly se u ní potíže s pochopením zadání, a to zadání úlohy i básně vedoucí k získání kódu. Ze záznamu očí lze vyčíst, že sledovala prvky, kterých se báseň týká, z nich však nevybrala ty správné. Další problém je ve špatném přečtení zadání, což dokládá i záznam ze kterého vyplývá, že báseň z pergamenu četla žákyně opakovaně, zadání úlohy si přečetla pouze jednou na začátku a už se k němu nevrátila. I proto zřejmě zvolila odpověď ve formě písemného, ne číselného kódu.

T: „zjistila jsem, že když tam z helia postoupím o dvě dolů, tak se dostanu na argon # když z argonu pudu o tři vlevo tak se dostanu na síru jednu výš to je kyslík a tady jsem se zasekla, protože jsem věděla, že mám jít vpravo, vpravo, ale nevěděla jsem o kolik a potom, že tam je o jednu níž“

Truhla, údajně uchovávající alchymistův poklad, se dá odemknout jen po zadání **pětimístného kódu** sestaveného z protonových čísel prvků. K němu vede záhadná šifra. Dokážete za pomoci periodické tabulky prvků odemknout truhlu s alchymistovým pokladem?



*Z helia jen o dvě dolů, nesloučí se, když jsou spolu.
Pak tři vlevo: jednu výš, dýcháš-li, už se nevzbudíš.
Dál vpravo a o jednu níž, dej pozor, nebo uhoříš.*

kód: _____

Periodická soustava prvků

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | | | | | | | | |
|---|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| 1 | H | He | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Li | Be | | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne | | | | | | | | | |
| 3 | Na | Mg | | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar | | | | | | | | | |
| 4 | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | | | | | | | | | |
| 5 | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | | | | | | | | | |
| 6 | Cs | Ba | | | | | | | | | | | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| 7 | Fr | Ra | | | | | | | | | | | Rf | Db | Sg | Bh | Hs | Mt | Ds | Rg | Cn | Uut | Fl | Uup | Lv | Uus | Jl |
| 8 | Lanthanoidy | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Aktinoidy | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Obrázek 35 Attention mapa první úlohy žákyně T

Strategie určované pomocí RTA by proto šly u této žákyně rozšířit o nepochopení zadání, přičemž důvodem mohlo být nepozorné čtení vzhledem míře sledování zadání (viz Obr. 41).

Dva kamarádi chemici čekají, než se vydestiluje produkt jejich celodenního snažení. Čas si krátí hrou, která je podobná klasické přebíjené s kartami. V případě chemiků nevítězí karta s vyšší hodnotou, ale vyšší číslo získané různými operacemi s počty prvků či protonovými čísly. Počítá se vždy vítězí v daném tahu, nikoli číselná hodnota. Takto vypadala jejich hra.

I. tah:
Karel: Součet protonových čísel všech kovů ve 2. periodě.
Tomáš: Součin protonových čísel dvou prvků s největší elektronegativitou.

II. tah:
Tomáš: Počet prvků třetí periody, které vedou elektrický proud.
Karel: Počet plynných prvků druhé periody.

III. tah:
Karel: Rozdíl protonových čísel posledního a prvního prvku 13. skupiny vedoucího teplo.
Tomáš: Součet protonových čísel prvků 15. skupiny nevedoucích elektrický proud.

Vítězem je ten, kdo ovládne více tahů. Za pomoci periodické tabulky vyberte správnou odpověď.

a) vyhrál Karel
b) vyhrál Tomáš
c) výsledek je nerozhodný

Periodická soustava prvků

Obrázek 36 Attention map druhé úlohy žákyně T

U druhé úlohy žákyně popsal veskrze celý postup, jenž při řešení uplatňovala. Nezmínila však podporu v legendě tabulky, kterou při řešení několikrát využila. To zobrazuje i *heat map* na obrázku 42. Přestože žákyně sledovala v tabulce všechny potřebné informace, úlohu jí zabránila vyřešit neznalost.

T: „Pak sem se dostala na třetí tah, kde jsem u Karla měla zjistit rozdíl protonových čísel posledního a prvního prvku třinácté skupiny vedoucí teplo, bohužel to je tohleto, u této otázky jsem si nepamatovala, jaké, jaké prvky vedou teplo, takže jsem se následně posunula na Tomáše“

Tento problém vedl k aplikaci limitující strategie – tipování.

T: „jelikož jsem nezjistila jednu # jednu úlohu, tak sem si výsledek tipla.“

Třetí úlohu žákyně řešila postupně po jednotlivých částech. V první části úlohy našla žákyně 17. skupinu, ve které se soustředila na astat. Na obrázku 43 je patrná její zvýšená pozornost věnovaná tomuto prvku. Žákyně vyvodila tedy podle skupiny prvek i skupenství, barvu se však vyvodit nesnažila, a tak v tomto případě ovlivnila neznalost správnost výsledku.

Ke druhé části úlohy využila žákyně také tabulku. V ní se však zaměřila na nepotřebné informace, což ukazuje na neznalost trendů ve skupinách periodické tabulky. Tento jev doprovází žákyně popisem svého postupu.

T: „Že sodík s vodou # ... vznik vodíku při reakci sodíku je patrnější a nejdříve jsem se podívala na elektronegativitu litia a sodíku, porovnála sem to s draslíkem a zjistila sem, že sodík má nejvyšší elektronegativitu a před ním je litium a před ním je draslík a ... poté sem to Poté sem z nabídky vybrala něco, co je mezi tím. Potom se, si prošla všechny možnosti a vzala sem to vylučovací metodou, že když draslík má nejmenší elektronegativitu, ...tak nemůže, nemůže reakce být velmi bouřlivá a # ... a nemůže probíhat velice rychle.“

To, že *think-aloud* může ovlivnit výsledky žáka, již zaznělo v teoretických východiscích práce. Také žákyně ze vzorku v tomto případě při verbalizaci svých myšlenek změnila svou výpověď.

T: „Ale teď při tom mluvení vidím, že litium má větší elektronegativitu než draslík, tudíž bych změnila svoji odpověď, že #“

Pozměněná odpověď žákyně však nebyla vzhledem k povaze RTA do výsledků započítána.

The image shows a chemistry assignment page with a periodic table and a student's handwritten solution. The assignment asks for the reaction of sodium with water and the reaction of potassium with water. The student's solution is written in blue ink and includes the following text:

Na základě těchto informací seřadte prvky podle velikosti od největšího k nejmenšímu:

platina, měď, fosfor, sodík, vodík, kyslík

The periodic table is labeled 'Periodická soustava prvků' and shows elements from Hydrogen (H) to Oganesson (Og). The student's solution is written on a grid that matches the periodic table's layout.

Obrázek 37 Attention map třetí úlohy žákyně T

Ve třetí části úlohy žákyně správně interpretovala zadání, avšak nedokázala postup aplikovat. Při seřazování prvků dle atomového poloměru již pracovala s poupraveným zadáním a její odpověď tak neodpovídá řazení prvků dle zadání. Mimo poupravení zadání je zde problémem i neznalost trendů v periodické tabulce prvků.

T: „... # díky tomu sem usoudila, že... že první bude sodík, protože je v první skupině a na začátku periody, na druhé místo jsem zařadila vodík, protože je na začátku periody“

Žákyně se snažila využívat převážně podporujících strategií. Z těchto strategií využívala nejvíce práci s dostupnými informacemi, dále svou reflexi a následnou úpravu, ze strategií nezmiňovaných přeskočila obrázek, který byl k vyřešení první úlohy nepotřebný. Přesto ji ovlivňovalo velké množství problémů, které se z největší části týkaly znalostí, ale i nepochopení zadání a nesprávného postupu. Žákyně se uchýlila k limitujícím strategiím pouze v případě, kdy jí omezila neznalost natolik, že nebyla schopna vyvodit odpověď z dílčích výsledků.

3.10.9 Souhrn výsledků

Odpovědi žáků jsou zobrazeny v tabulce 11. V porovnání s pretestem, při kterém se u 19 žáků ze 139 vyskytlo nezodpovězení části otázky (konkrétně slovního vysvětlení druhé úlohy), metoda výzkumného měření umožnila získat informace o řešení všech úloh od všech žáků.

Tabulka 11 Řešení úloh jednotlivých žáků

| Žák | Odpověď | | | | |
|-----------|--------------|----------|---------------------------|------------|--------------------------|
| | 1. úloha | 2. úloha | 3. úloha | | |
| | | | 1. část | 2. část | 3. část |
| Ax | Chlor | a) | astat | b | Pt, Cu, H, O, P, Na |
| Ag | 18716 | a) | astat, plyn, světle modrá | b,d,e | O, P, Cu, Pt, H, Na |
| An | Si | c) | astat, kapalina | b,d | Pt, Cu, Na, P,O,H |
| F | 18243 | a) | astat, oranžová | b,d | Na, H, Pt, Cu, P, O |
| J | 18716 | a) | astat, pevné sk., modrá | b | Pt, Na, Cu, H, P, O |
| M | 18716 | c) | astat, pevné sk. modrá | e | O, H, P, Cu, Pt, Na |
| O | Chlor | a) | astat, pevné sk. | b,d | Pt, P, Cu, Na, O,H |
| T | ArSOCl | b) | astat, pevné sk. | e | Na, H, Pt, Cu, P, O |

V tabulce jsou shrnuty veškeré odpovědi žáků, správné odpovědi jsou vyznačeny tučným písmem. Úplně správná odpověď se nevyskytla u první části třetí úlohy, kde zněla správná odpověď: astat, pevné skupenství, černá barva. To, zda žáci při řešení aplikovali postup vedoucí ke správnému výsledku nebo byla správná odpověď náhodná zobrazují následující tabulky zpracované pro každou úlohu testování.

Následující tabulky (Tab. 12, 13, 14) konkretizují postupy žáků v jednotlivých úlohách. U prvních dvou úloh bylo možné pouze úplně správné nebo chybné řešení. Třetí úloha nabízela vzhledem k množství podotázek také částečně správné řešení. Další položkou tabulek jsou strategie, které vedly k výsledku žáků. Jsou to strategie, které měly vliv na výsledek žáků.

Pokud tedy žák při řešení úlohy používal převážně podporující strategie, avšak uvědomoval si své problémy, z jejichž důvodu výsledek v závěru tipoval, byla jeho strategie, která vedla k výsledku, zařazena do strategií limitujících. Při správném řešení žáci využívali více podporujících strategií, proto jsou v tabulkách popsány jen obecně. Limitující strategie, které ovlivnily konečný výsledek jsou v tabulkách vyznačeny konkrétně. Dále je v tabulkách zaneseno také porovnání získaných bodů v testu (správných odpovědí), se získanými body za skutečně správně vyřešenou úlohu. Poslední položkou tabulky jsou rozdíly žáků v popisování svých postupů a postupů vyhodnocovaných z *eye-trackingového* záznamu.

Tabulka 12 Souhrn výsledků první úlohy

| Žák | Odpověď | | Strategie vedoucí k výsledku | | Postup řešení | | Počet bodů | | ET x TA rozdíly |
|-----------|---------|--------|------------------------------|-------------|---------------|--------|------------|----------|--------------------|
| | Správná | Chybná | Limitující | Podporující | Správný | Chybný | V testu | Skutečný | |
| Ax | | x | T ⁸ | | | x | 0 | 0 | |
| Ag | x | | | x | x | | 2 | 2 | x |
| An | | x | | x | | x | 0 | 0 | x |
| F | | x | | x | x | | 0 | 0 | |
| J | x | | | x | x | | 2 | 2 | |
| M | x | | | x | x | | 2 | 2 | |
| O | | x | | x | | x | 0 | 0 | x |
| T | | x | | x | | x | 0 | 0 | x |

První úloha byla svou náročností zařazena do kategorie úlohy na minimální obtížnosti. Při řešení této úlohy bylo úspěšných nejvíce žáků, tři. Všichni tito žáci využívali podporujících strategií a správného postupu. Vyšší počet získaných bodů se objevuje zřejmě právě proto, že žáci byli nejméně omezeni problémy. K vyřešení úlohy totiž stačí pozorné čtení zadání a základní orientace v PSP (viz Holec & Rusek, 2016). U první úlohy tedy všichni žáci, kteří v úloze uspěli, využívali podporující strategie a správný postup. Avšak i ti žáci, kteří neodpovídali správně využívali s výjimkou jednoho, podporující strategie, ale chybný postup řešení. Ten se nejčastěji objevoval kvůli problému – nepochopení zadání. U jednoho žáka došlo k situaci, kdy sice aplikoval správný postup, našel správné prvky, první dvě čísla hledaného kódu napsal správně, další však zaměnil za hodnotu elektronegativity (viz žák F tab. 11). Použití limitujících strategií nevedlo v této úloze ke správnému řešení. *Eye-trackingový* záznam ukazoval údaje, které z výpovědí žáků nebylo možné zjistit. U první úlohy se jednalo o

⁸ Tipování

ignorování nepotřebných částí úlohy či tabulky a neorientování se žáků v tabulce a několikanásobného čtení.

Tabulka 13 Souhrn výsledků druhé úlohy

| Žák | Odpověď | | Strategie vedoucí k výsledku | | Postup řešení | | Počet bodů | | ET x TA rozdíly |
|-----------|---------|--------|------------------------------|-------------|---------------|--------|------------|----------|-----------------|
| | Správná | Chybná | Limitující | Podporující | Správný | Chybný | V testu | Skutečný | |
| Ax | | x | VZ ⁹ | | | x | 0 | 0 | x |
| Ag | | x | | x | x | | 0 | 0 | |
| An | x | | T ¹⁰ | | | x | 2 | 0 | |
| F | | x | T | | | x | 0 | 0 | x |
| J | | x | VZ | | | x | 0 | 0 | |
| M | x | | T | | | x | 2 | 0 | |
| O | | | T | | | x | 0 | 0 | |
| T | | x | T | | | x | 0 | 0 | x |

Druhá úloha na optimální úrovni obtížnosti byla zaměřena na osvojení pojmů skupina a perioda a znalostech vlastností kovů, nekovů i polokovů (Holec & Rusek, 2016). V PSP, kterou úloha obsahovala, bylo zařazení prvků mezi kovy nekovy a polokovy barevně označeno a podpořeno také legendou objasňující jednotlivé barvy. Správnou odpověď zvolili ve druhé úloze dva žáci. Oba žáci však využívali nesprávného postupu a k odpovědi je vedla limitující strategie. Jejich řešení tak nevycházelo ze skutečných osvojení strategií a aplikace znalosti tématu, ale z náhodné volby. Proto byl u těchto žáků zisk dvou bodů za správnou odpověď změněn na nula bodů za skutečné řešení. I v této úloze využívala jedna žákyně podporující strategie spolu se správným postupem. U té však omezily volbu správné odpovědi problémy týkající se znalostí vlastností prvků. Zbytek žáků se uchýlil k limitujícím strategiím, ke kterým patřilo vyvozování ze struktury zadání nebo tipování. Nesprávné odpovědi tedy nebyly vždy způsobeny nesprávným postupem nebo limitujícími strategiemi. Správné odpovědi však nebyly ani v jednom případě zvoleny díky aplikaci podporujících strategií a správného řešení. Rozdíly mezi popisy žáků a záznamem pohybů očí se týkaly převážně opakovaného čtení nebo opory o tabulku, kterou žáci nezmiňují, včetně práce s legendou, ve kterých žáci hledali kovový či nekovový charakter prvků.

⁹ Vyvozování ze struktury zadání

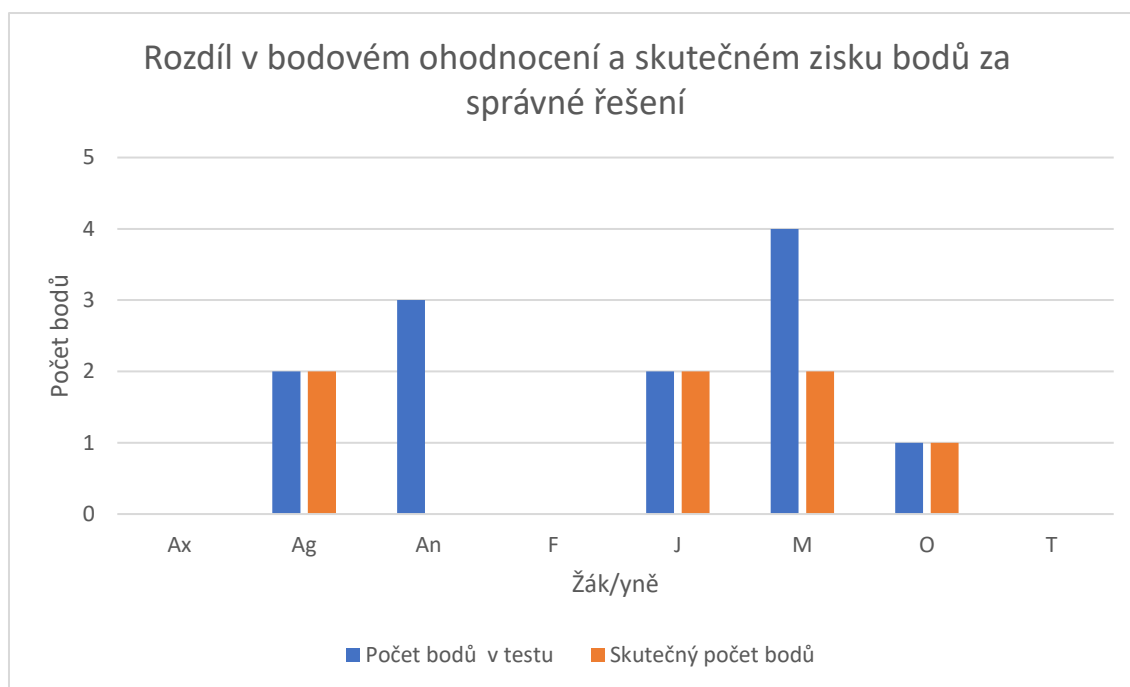
¹⁰ Tipování

Tabulka 14 Souhrn výsledků třetí úlohy

| Žák | Odpověď | | Strategie vedoucí k výsledku | | Postup řešení | | | Počet bodů | | ET x TA rozdíly |
|-----------|------------------|--------|------------------------------|-------------|---------------|------------------|--------|------------|----------|-----------------|
| | Částečně správná | Chybná | Limitující | Podporující | Správný | Částečně správný | Chybný | V testu | Skutečný | |
| Ax | | x | T ¹¹ | | | | x | 0 | 0 | |
| Ag | | x | | x | | x | | 0 | 0 | |
| An | x | | T | | | | x | 1 | 0 | x |
| F | | x | | x | | x | | 0 | 0 | |
| J | | x | | x | | x | | 0 | 0 | |
| M | | x | T | | | | x | 0 | 0 | x |
| O | x | | | x | | x | | 1 | 1 | x |
| T | | x | | x | | | x | 0 | 0 | x |

Ve třetí úloze, která zastupovala kategorii excelentní úrovně obtížnosti, neodpověděl úplně správně žádný žák, proto se tato položka v tabulce 14 nevyskytuje. Úloha byla zaměřena na aplikování znalostí žáků o trendech v PSP (Holec & Rusek, 2016). Částečně správně odpověděla žákyně An a žák O. U žákyně An byl však zaznamenán nesprávný postup řešení úlohy, a to ve všech případech. U této žákyně proto z původního jednoho bodu za částečně správné řešení byl opraven na její skutečný výsledek – nula. Žák O zodpověděl polovinu otázek správně, za což byl ohodnocen jedním bodem. Správně zodpovězené části otázky vyvozoval ze správného řešení, proto mu jeden bod zůstal i po vyhodnocení skutečného řešení. Celkově využívali limitujících strategií, které vedly k odpovědím, tři žáci. Podporující strategie byly ve čtyřech z pěti případů doprovázeny alespoň částečně správným postupem (v některých částech úlohy nebyl aplikován správný postup). U jedné žákyně se objevily problémy, které zapříčinily chybný postup. Problém byl převážně v nepochopení zadání. Rozdíly mezi popisem žáků a záznamem pohybů očí se týkaly i této úlohy. V tomto případě žáci hovořili o pouhém tipování, ačkoliv *eye-trackingový* záznam zobrazoval sledování požadovaných informací v PSP. Další rozdíly se týkaly několikanásobného čtení zadání.

¹¹ Tipování



Graf 8 Porovnání počtu bodů za správné odpovědi a skutečného počtu bodů

Graf 8 zobrazuje porovnání získaných bodů jednotlivých žáků na základě jejich odpovědí a skutečného počtu získaných bodů za správně vyřešené úlohy u jednotlivých žáků. Z těchto hodnot je patrné, že počet skutečně správně vyřešených úloh je nižší než po pouhém spočítání bodů za správné odpovědi.

4 Diskuze výsledků

Výsledky pretestu použitého v této práci neodpovídaly normálnímu rozdělení bodů mezi žáky. Hodnoty byly silně posunuty doleva. Vysoké zastoupení žáků s nízkým počtem bodů může spočívat v zaměření žáků. Výzkum probíhal u žáků SOŠ nechemického zaměření, u kterých se vyskytují negativní postoje k chemii, a to z důvodu její vnímané obtížnosti i nezájmu žáků o předmět (Rusek, 2013; Veselský & Hrubíšková, 2009). Další možnou příčinou může být neschopnost žáků řešit problémové úlohy, těmto úlohám je potřeba pro nacvičení jednotlivých fází věnovat ve škole vyšší pozornost (Johnstone, 2001; Volfová, 1979). Využití úloh, které jsou zasazené do jiného konceptu než jsou zvyklí (například vymanění úlohy z laboratorních podmínek do reálného života), může být také pro žáky problémem (Blažek, 2014). Bodové rozložení může být zatíženo falešně pozitivními či negativními výsledky (Koreneková, 2018). Abnormální rozdělení bodů může mít příčinu i ve využití učebních úloh za účelem testování žáků.

Výzkumná otázka (O1) se týkala míry využití moderních metod v mapování postupu žáků při řešení problémových úloh. *Eye-tracking* umožňuje záznam podrobného postupu žáka při řešení úlohy. Ačkoliv neumožňuje zjišťovat záměry, se kterými danou část úlohy žák sledoval, doplňuje tyto mezery metoda *think-aloud*, která nabízí hlubší porozumění počinům žáků (Anderson, Bothell, & Douglass, 2004; Seagull & Xiao, 2001). Díky tomu bylo možné kombinací těchto metod odhalit kromě pouhého postupu také žáky využívané strategie. Pro zjištění dalších informací o žákovi by bylo možné natáčet celý proces videokamerou a sledovat tak celkový průběh měření, včetně toho, kdy si žáci zapisují poznámky nebo kdy přesně opravují své výsledky.

Metod jako takových se týká i výzkumná otázka O6. Při analýze obou metod se objevovaly rozdíly mezi žáky popisovaným řešením a informacemi, které sledovali. Na *scanpath* či *attention* mapě žáka je možné sledovat kromě těch částí, na které se žák zaměřoval také ty, kterým se nevěnoval a nehovoří o nich. Pokud žák použije limitující strategii (tipování), může být na záznamu vidět, zda se žák opravdu nesnažil úlohu vyřešit nebo zda se pokusil, ale tipoval z důvodu neznalosti. Tento trend se vyskytoval u všech úloh, přičemž pouze u jednoho žáka nebyl identifikován zásadní rozdíl mezi RTA a *eye-trackingovým* záznamem.

Výzkumná otázka O2 se zabývala postupem žáků při řešení problémových úloh. To, zda žáci postupovali správně nebo chybně, shrnují tabulky 12, 13 a 14. Jednotlivé kroky jsou popsány

v kapitole 3.10. Jak vyplývá z těchto postupů, žáci, kteří byli limitováni svými problémy (neznalostí), používali limitující strategie, které vedly k nesprávnému postupu řešení.

Další výzkumné otázky byly položeny s cílem zjišťování žákovských strategií a problémů (O3, O4). Z využívaných strategií převládaly u žáků strategie podporující. Tyto však, jak vyplývá z údajů v tabulkách (12, 13, 14), nebyly uplatněny až k dosažení konečného řešení úlohy. Z podporujících strategií žáci nejvíce využívali práci s dostupnými informacemi, což však mohlo být způsobeno povahou úloh. Všechny úlohy byly doprovázeny periodickou tabulkou, kterou žáci při řešení úlohy používali. Právě využívání tabulky bylo nejčastějším jevem, který se u žáků vyskytoval. Ačkoliv, co se četnosti týče, převládalo aplikování podporujících strategií, byla jejich úspěšnost omezována problémy. Časté problémy s neznalostí mohou být způsobovány zaměřením školy, jak je již diskutováno u výsledků pretestů. Druhým častým problémem bylo nepochopení i nepozorné čtení zadání. Trend nepozorného čtení u žáků devátých tříd vyzoroval z rozhovorů se žáky i Matěka (2013), který sledoval strategie a problémy u žáků při řešení matematických úloh z testování TIMSS. Tato mezinárodní testování, vzhledem k jejím dopadům převážně PISA, jsou terčem kritiky také z důvodu neznalosti příčin chyb a strategií, které žáci využívají. Takové výsledky jsou často chybně interpretovány (viz Straková, 2016). Bez znalosti konkrétních žákovských postupů, problémů a strategií vychází v práci výsledky, které jsou sice zodpovězeny správně, avšak postup řešení je nesprávný (viz níže).

Limitující strategie využívali žáci v případě, že se setkali s problémy, které jim zabránily vyřešit úlohu správným postupem. Z limitujících strategií se nejčastěji objevovalo tipování a vyvozování ze struktury zadání. U těchto žáků docházelo k falešně pozitivním či falešně negativním výsledkům, což dokládá i výzkum Korenekové (2018).

Na výzkumnou otázku týkající se rozdílů mezi strategiemi, které používají žáci (O5) nelze jednoznačně odpovědět. Vzhledem k relativně nízkému počtu dosažených bodů a správně vyřešených úloh v testu nejsou z výsledku jasné patrné rozdíly mezi strategiemi, které používají úspěšní a neúspěšní žáci. Objevují se však žáci neúspěšní, kteří používali správného postupu i podporujících strategií, v určité fázi řešení se však vyskytl problém. U žáka F, který v první úloze postupoval správným způsobem, napsal správně první část odpovědi (opis protonového čísla prvku), v dalších částech však z tabulky opsal hodnotu elektronegativity, mohlo být tímto problémem pouze přehlédnutí se v tabulce a spoléhání na hodnotu tabulky, kterou neporovnal se svou znalostí konceptu protonového čísla. Chyba v opisu hodnot mohla být také zatížena stresem z pozorování výzkumníkem při řešení. Ke zjištění úrovně jejich stresu by mohlo být

využito další metody záznamu, a to zaznamenávání stresových situací na základě srdečního tepu pomocí čidla odporu a vodivosti kůže (*galvanic skin response*), které využívala např. Labischová (2015). Výrobci očních kamer nabízí napojení i na přístroje měřící EKG. Dopuštění se drobné chyby by v porovnání s celkovým charakterem úlohy mohlo být považováno za falešně pozitivní výsledek. Vzhledem k nejistotě příčiny opsání nesprávné hodnoty je však výsledek považován za nesprávný.

V analýze testů se objevuje více žáků s falešně pozitivním výsledkem, u kterých se jednalo převážně o tipování s náhodným výběrem správné odpovědi. Tyto falešně pozitivní výsledky byly upraveny a počet získaných bodů za skutečně správné odpovědi je nižší, přičemž u jedné žákyně se jedná o všechny získané body v testu. Otázkou zůstává, nakolik byl těmito jevy zatížen také pretest. Koreneková (2018) využívala úlohy ze stejné publikace, falešně pozitivní výsledky se objevovaly i v jejím výzkumu.

Možností eliminace výsledků nevypovídajících o schopnostech žáků jsou dvouúrovňové testy (*two tier tests*), které mohou být pro učitele jednoduchým nástrojem ke zjištění úrovně dosažených znalostí a schopností žáků. Takové testy totiž vyžadují kromě správné odpovědi zároveň její zdůvodnění, což se týká otevřených ale i uzavřených otázek (viz Haslam & Treagust, 1987).

Nízká úspěšnost žáků v testu a výše uvedené falešně pozitivní výsledky neumožňují potvrzení formulovaných hypotéz. Falešně pozitivními výsledky nebyla zatížena pouze jedna úloha, a to úloha o minimální úrovni obtížnosti, u které se může jevit H3 (Méně úspěšní žáci se častěji setkávají s problémy při řešení problémových úloh než žáci úspěšní) jako pravdivá. Dle hodnot získaných při řešení první úlohy by pro skutečné potvrzení hypotéz bylo možností zkoumat řešení na úlohách na minimální úrovni obtížnosti, případně na vzorku žáků školně úspěšnějších. Zdá se však, že i žáci vybraní na základě pretestu jako úspěšnější řešitelé výsledku nedosáhli s využitím podporujících strategií řešení problémů.

Závěr

Práce se zabývala klíčovým tématem pro život žáků – řešením problémů. V teoretických východiscích práce byly vymezeny problémové úlohy jako takové, spolu s jejich dělením a aplikací v problémovém vyučování. Dále byly blíže popsány strategie, které žáci při řešení problémových úloh používají, spolu se zmapováním výzkumů, které se tematice věnovaly.

K naplnění vytyčených cílů práce, popisu strategií využívaných žáky, jejich postupů a problémů, byla využita metoda *eye-tracking*. Metoda je v práci teoreticky popsána, přičemž je také zmapováno její využívání v didaktickém výzkumu ve světě i u nás. Vzhledem k limitům, které metoda vykazuje, byl *eye-tracking* v praktické části výzkumu propojen s metodou RTA (retrospektivní *think-aloud*). Propojení metod se jeví jako účinné pro popisování postupu žáků při řešení úloh, včetně popisu strategií a problémů při řešení.

Poměrně nízká úspěšnost žáků může být ukazatelem pro další práci na rozvoji kompetencí žáků vedoucích k řešení problémů. Diplomová práce tak slouží jako výchozí bod pro tvorbu metodických doporučení pro posilování schopnosti žáků řešit problémové úlohy.

Možnosti dalšího vývoje výzkumu jsou široké. V práci je věnována pouze částečná pozornost čtenářským strategiím. Přesto se ukazuje, že žáci měli při řešení úloh problém s pochopením a pozorným čtením zadání, jehož příčiny by bylo možné metodou dále sledovat.

Pro získání komplexnějších informací o žácích může být budoucí výzkum rozšířen o práci s kamerou, přičemž by u žáků byly natáčeny i jejich reakce, spolu s jejich průběžným zapisováním při řešení. Dále o zjišťování stresového faktoru, jež je v práci také diskutováno. Porovnávání strategií postupů expertů a začátečníků je další možností studie, která může vést k určení rozdílů, které vedou k selhávání žáků.

Výzkumná část práce se zaměřovala na strategie používané při řešení úloh, jež vyžadovaly práci s PSP. Pro širší zmapování, mohou být další výzkumy směřovány k ostatním specificky oborovým záležitostem, ať již modelům atomů, grafům tabulkám či dalším reprezentacím chemických jevů.

Seznam použitých informačních zdrojů

- Anderson, J. R., Bothell, D., & Douglass, S. (2004). Eye movements do not reflect retrieval processes: Limits of the eye-mind hypothesis. *Psychological Science*, 15(4), 225-231.
- Barrows, H. S. (1996). Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview. *New directions for teaching and learning*, 1996(68), 3-12.
- Baumann, J. F., Jones, L. A., & Seifert-Kessell, N. (1993). Using think alouds to enhance children's comprehension monitoring abilities. *The Reading Teacher*, 47(3), 184-193.
- Berliner, D. C., & Calfee, R. C. (2013). *Handbook of educational psychology*: Routledge.
- Blažek, R. (2017). *Publikace s uvolněnými úlohami z mezinárodního šetření PISA 2015 Uvolněné úlohy z přírodovědné gramotnosti a metodika tvorby interaktivních úloh*
Dostupné z
http://www.csicr.cz/html/PISA_2015_uvolnene_ulohy/html5/index.html?&locale=CSY
- Blažek, R., & Boudová, S. (2016). *Národní zpráva PISA 2015 Týmové řešení problému Dotazníkové šetření* Dostupné z
http://www.csicr.cz/html/PISA_2015_NZ_reseni_problemu/html5/index.html?&locale=CSY&pn=4
- Blažek, R., & Příhodová, S. (2016). *Mezinárodní šetření PISA 2015 Národní zpráva: Přírodovědná gramotnost* Dostupné z
<http://www.csicr.cz/html/PISA2015/html5/index.html?&locale=CSY>
- Blech, C., & Funke, J. (2010). You cannot have your cake and eat it, too: How induced goal conflicts affect complex problem solving.
- Bowen, C. W. (1994). Think-aloud methods in chemistry education: Understanding student thinking: ACS Publications.
- Bransford, J. D., & Stein, B. S. (1993). The IDEAL problem solver.
- Bruner, J. S. (1965). *Vzdělávací proces*: SPN.
- Cooke, L., & Cuddihy, E. (2005). *Using eye tracking to address limitations in think-aloud protocol*. Paper presented at the null.

- Červenková, I., Malčík, M., Guziur, J., & Sikorová, Z. (2014). Executive functions in comprehending the content of visual and textual information. *Proceedings information and communication technology in education(s 53)*, 60.
- Davey, B. (1983). Think aloud: Modeling the cognitive processes of reading comprehension. *Journal of Reading*, 27(1), 44-47.
- Dhillon, A. S. (1998). Individual differences within problem-solving strategies used in physics. *Science Education*, 82(3), 379-405.
- Dobešová, Z. (2016). Student reading strategies of GIS workflow diagrams. *J. Adv. Soc. Sci. Educ. Humanit. Res*, 70, 319-325.
- Doherty, S., O'Brien, S., & Carl, M. (2010). Eye tracking as an MT evaluation technique. *Machine translation*, 24(1), 1-13.
- Dostál, J., & Gregar, J. (2015). *Inquiry-based instruction: Concept, essence, importance and contribution*: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Duchowski, A. T. (2006). *High-level eye movement metrics in the usability context*. Paper presented at the CHI2006 Workshop Getting a Measure of Satisfaction from Eyetracking in Practice.
- Duchowski, A. T. (2007). Eye tracking methodology. *Theory and practice*.
- Ehmke, C., & Wilson, S. (2007). *Identifying web usability problems from eye-tracking data*. Paper presented at the Proceedings of the 21st British HCI Group Annual Conference on People and Computers: HCI... but not as we know it-Volume 1.
- Eisenmann, P., & Břehovský, J. (2013). Vypuštění podmínky–užitečná heuristická strategie. *MATEMATIKA–FYZIKA–INFORMATIKA*, 22(3), 183–191.
- Engel, A. (1998). Coloring Proofs. *Problem-Solving Strategies*, 25-37.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological review*, 87(3), 215.
- Fejtová, M., Fabián, V., & Dobiáš, M. (2011). Sledování očních pohybů pro diagnostiku dyslexie. *INSPO 2011-Internet a informační systémy pro osoby se specifickými potřebami*, 10-12.

- Gabel, D. L., Sherwood, R. D., & Enochs, L. (1984). Problem-solving skills of high school chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2), 221-233.
- Gavora, P. (2000). *Úvod do pedagogického výzkumu*. Brno: Paido.
- Gazepoint. (2018). Biometrics HD Eye Tracker Bundle | Eye Tracking and Biometrics UX Testing Kit. Dostupné z <https://www.gazept.com/product/biometrics-hd-eye-tracker-bundle-eye-tracking-and-biometrics-testing-ux/>
- Goffin, S. G., & Tull, C. Q. (1985). Problem solving: Encouraging active learning. *Young Children*.
- Goldberg, J. H., & Kotval, X. P. (1999). Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24(6), 631-645.
- Hansen, J. P. (1991). The use of eye mark recordings to support verbal retrospection in software testing. *Acta Psychologica*, 76(1), 31-49.
- Hansen, S. J. R. (2014). *Multimodal study of visual problem solving in chemistry with multiple representations*: Columbia University.
- Haslam, F., & Treagust, D. F. (1987). Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument. *Journal of biological education*, 21(3), 203-211.
- Havlíčková, D. (2015). *Metodika-Kompetence, Kvalita, Kvalifikace,(sebe) Koncepce: pro neformální vzdělávání*: Národní institut pro další vzdělávání.
- Hegarty, M. (1992). Mental animation: Inferring motion from static displays of mechanical systems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18(5), 1084.
- Hejnová, E., & Kekule, M. (2018). Observing students' problem solving strategies in mechanics by eye-tracking method. *Scientia in educatione*, 9(2), 102-116.
- Hertzum, M., Hansen, K. D., & Andersen, H. H. (2009). Scrutinising usability evaluation: does thinking aloud affect behaviour and mental workload? *Behaviour & Information Technology*, 28(2), 165-181.

- Hinze, S. R., Rapp, D. N., Williamson, V. M., Shultz, M. J., Deslongchamps, G., & Williamson, K. C. (2013). Beyond ball-and-stick: Students' processing of novel STEM visualizations. *Learning and instruction*, 26, 12-21.
- Holec, J., & Rusek, M. (2016). *Metodické komentáře a úlohy ke Standardům pro základní vzdělávání - chemie*. Praha: NÚV.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*: OUP Oxford.
- Holzman, P. S., Proctor, L. R., & Hughes, D. W. (1973). Eye-tracking patterns in schizophrenia. *Science*, 181(4095), 179-181.
- Hyrskykari, A., Ovaska, S., Majaranta, P., Räihä, K.-J., & Lehtinen, M. (2008). Gaze path stimulation in retrospective think-aloud. *Journal of Eye Movement Research*, 2(4).
- Cheung, D. (2009). Using think-aloud protocols to investigate secondary school chemistry teachers' misconceptions about chemical equilibrium. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(2), 97-108.
- Chi, M. T., De Leeuw, N., Chiu, M.-H., & LaVancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive science*, 18(3), 439-477.
- Chupáč, A. (2008). Rozvoj klíčových kompetencí žáka při řešení problémových učebních úloh v chemickém vzdělávání. *Pedagogická orientace*, 18(4), 73-82.
- iMotions. (2018a). Automatic Facial Expression Analysis.
- iMotions. (2018b). Eye Tracking Glasses. Dostupné z <https://imotions.com/products/hardware/eye-tracking-glasses/>
- iMotions. (2018c). Screen-Based Eye Trackers (Desktop). Dostupné z <https://imotions.com/products/hardware/screenbased-eye-trackers/>
- iMotions. (2018d). Virtual Reality Integration. Dostupné z <https://imotions.com/vr/>
- Jarodzka, H., Gruber, H., & Holmqvist, K. (2017). Eye tracking in Educational Science: Theoretical frameworks and research agendas.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of computer assisted learning*, 7(2), 75-83.

- Johnstone, A. H. (2001). Can problem solving be taught. *University Chemistry Education*, 5(2), 69-73.
- Jošt, J. (2009). *Oční pohyby, čtení a dyslexie*: Fortuna.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1975). Eye fixations and cognitive processes. *Cognitive psychology*, 8(4), 441-480.
- Kekule, M. (2014a). *Students' approaches when dealing with kinematics graphs explored by eye-tracking research method*. Paper presented at the Proceedings of the frontiers in mathematics and science education research conference, FISER.
- Kekule, M. (2014b). Výzkum pomocí oční kamery ve fyzikálním vzdělávání. *Scientia in educatione*, 5(2), 58-73.
- Kekule, M. (2015). Metoda oční kamery (eye-trackeru) při výzkumu řešení úloh z fyziky žáky SŠ a VŠ. *MATEMATIKA–FYZIKA–INFORMATIKA*, 24(2), 123–131.
- Khooshabeh, P., Hegarty, M., & Shipley, T. F. (2013). Individual differences in mental rotation. *Experimental psychology*.
- Kilroy, D. (2004). Problem based learning. *Emergency medicine journal*, 21(4), 411-413.
- Klimeš, J. (2002). Využití oční kamery ve výzkumu reklamních materiálů. Dostupné z <http://klimes.mysteria.cz/clanky/psychologie/okkody/>
- Kopka, J. (2013). *Umění řešit matematické problémy*: HAV.
- Koreneková, K. (2018). *Výzkum strategií uplatňovaných žáky při řešení problémových úloh z chemie*. (Diplomová práce), Univerzita Karlova, Praha.
- Kraak, M.-J., & Koussoulakou, A. (2005). A visualization environment for the space-time-cube *Developments in spatial data handling* (s. 189-200): Springer.
- Kupisiewicz, C. (1964). *O efektívnosti problémového vyučovania*: Slovenské pedagogické nakl.
- Kuric, J. Přínos J. Ev. Purkyně pro rozvoj československé psychologie.
- Kwan, A. (2009). Problem-based learning. *The Routledge international handbook of higher education*, 91-107.

- Labischová, D. (2015). Možnosti využití metody eyetrackingu ve výzkumu kompetencí historického myšlení na příkladu analýzy ikonografického pramene-karikatury. *Pedagogická orientace*, 25(2), 271.
- Lai, M.-L., Tsai, M.-J., Yang, F.-Y., Hsu, C.-Y., Liu, T.-C., Lee, S. W.-Y., . . . Tsai, C.-C. (2013). A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012. *Educational research review*, 10, 90-115.
- Landa, L. N. (1975). Voprosy algoritmizacii i programmirovaniya obučeniya. Moskva. *Pedagogika*.
- Li, X., Çöltekin, A., & Kraak, M.-J. (2010). *Visual exploration of eye movement data using the space-time-cube*. Paper presented at the International Conference on Geographic Information Science.
- Lin, C.-S., Huan, C.-C., Chan, C.-N., Yeh, M.-S., & Chiu, C.-C. (2004). Design of a computer game using an eye-tracking device for eye's activity rehabilitation. *Optics and lasers in engineering*, 42(1), 91-108.
- Litman, R. E., Torrey, E. F., Hommer, D. W., Radant, A. R., Pickar, D., & Weinberger, D. R. (1997). A quantitative analysis of smooth pursuit eye tracking in monozygotic twins discordant for schizophrenia. *Archives of General Psychiatry*, 54(5), 417-426.
- Machmutov, M. I. (1975). *Problemnoje obučeniye*. Moskva: Pedagogika.
- Maňák, J., & Švec, V. (2003). *Výukové metody*: Paido.
- Mansour, J. K., & Flowe, H. D. (2010). *Eye tracking and eyewitness memory*.
- Mason, L., Tornatora, M. C., & Pluchino, P. (2013). Do fourth graders integrate text and picture in processing and learning from an illustrated science text? Evidence from eye-movement patterns. *Computers & Education*, 60(1), 95-109.
- Matěka, P. (2013). *Obtíže žáků při řešení vybraných slovních úloh z výzkumu TIMSS*. (Diplomová práce), Univerzita Karlova, Praha.
- Matlin, M. W. (2005). A Brief History of Cognitive Psychology. *Cognition*: Wiley.
- Mele, M. L., & Federici, S. (2012). Gaze and eye-tracking solutions for psychological research. *Cognitive processing*, 13(1), 261-265.

- Metelková Svobodová, R. (2016). K budování žákovských čtenářských dovedností v české edukaci 1. stupně ZŠ. *Nová čeština doma i ve světě*, 90-102.
- Najvarová, V. (2008). *Výzkum čtenářských strategií žáků 1. stupně základní školy*. Prezentováno v Pedagogický výzkum jako podpora proměny současné školy, Hradec Králové.
- Najvarová, V. (2010). Čtenářské strategie žáků prvního stupně základní školy. *Pedagogická orientace*, 20(3), 49-65.
- Naňka, O., Elišková, M., & Eliška, O. (2009). *Přehled anatomie*: Galén.
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering*: Elsevier.
- Ogilvie, C. (2009). Changes in students' problem-solving strategies in a course that includes context-rich, multifaceted problems. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 5(2), 020102.
- Okoń, W. (1966). *K základům problémového učení*: SPN.
- Oster, L. (2001). Using the think-aloud for reading instruction. *The Reading Teacher*, 55(1), 64-69.
- Palečková, J., Tomášek, V., & Blažek, R. (2014). *Mezinárodní šetření PISA 2012 Schopnost patnáctiletých žáků řešit problémy* Dostupné z <http://www.csicr.cz/html/PISA2012-SchResProblemy/html5/index.html?&locale=CSY&pn=3>
- Pérez, D. G., & Torregrosa, J. M. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5(4), 447-455.
- Pienta, N. J. (2017). Studying student behavior and chemistry skill using browser-based tools and eye-tracking hardware *Química Nova*, 40(4), 469-475.
- Polya, G. (2004). *How to solve it: A new aspect of mathematical method*: Princeton university press.
- Popelka, S. (2018). *Eye-tracking (nejen) v kognitivní kartografii. Praktický průvodce tvorbou a vyhodnocením experimentu*: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Popelka, S., Brychtová, A., & Voženílek, V. (2012). Eye-tracking a jeho využití při hodnocení map. *Geografický časopis*, 64(1), 71-87.

- Posamentier, A. S., & Krulik, S. (2008). *Problem-solving strategies for efficient and elegant solutions, grades 6-12: a resource for the mathematics teacher*: Corwin press.
- Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání. (2017). Praha: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy. Dostupné z <http://www.nuv.cz/t/rvp-pro-zakladni-vzdelavani>
- Rusek, M. (2013). *Výzkum postojů žáků středních škol k výuce chemie na základních školách*. (Disertační práce), Univerzita Karlova, Praha.
- Seagull, F. J., & Xiao, Y. (2001). *Using eye-tracking video data to augment knowledge elicitation in cognitive task analysis*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Shanahan, C., Shanahan, T., & Mischia, C. (2011). Analysis of Expert Readers in Three Disciplines: History, Mathematics, and Chemistry. *Journal of Literacy Research*, 43(4), 393-429. doi:10.1177/1086296x11424071
- Singh, H., & Singh, J. (2012). Human eye tracking and related issues: A review. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(9), 1-9.
- Skalková, J. (2007). *Obecná didaktika* (2. rozšířené a aktualizované vydání): Grada.
- Skopalík, A. (2003). *Oko a brýle*. Paper presented at the 5. Odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí, Brno.
- Slykhuis, D. A., Wiebe, E. N., & Annetta, L. A. (2005). Eye-tracking students' attention to PowerPoint photographs in a science education setting. *Journal of Science Education and Technology*, 14(5-6), 509-520.
- Sternberg, R. J. (2002). *Kognitivní psychologie*: Portál.
- Straková, J. (2016). Mezinárodní výzkumy výsledků vzdělávání. *Metodologie, přínosy, rizika a příležitosti*. Praha: Pedagogická fakulta.
- Strobel, B., Saß, S., Lindner, M. A., & Köller, O. (2016). Do graph readers prefer the graph type most suited to a given task? Insights from eye tracking. *Journal of Eye Movement Research*, 9(4), 1-15.
- Synek, S., & Skorkovská, Š. (2004). *Fyziologie oka a vidění*: Grada.

- Škrabánková, J. (2016). Practical use of the eye camera in pedagogical research (Processing of selected data using the eye tracking method). *Acta Technologica Dubnicae*, 6(1), 70-77.
- Tai, R. H., Loehr, J. F., & Brigham, F. J. (2006). An exploration of the use of eye-gaze tracking to study problem-solving on standardized science assessments. *International journal of research & method in education*, 29(2), 185-208.
- Tang, H., Day, E., Kendhammer, L., Moore, J. N., Brown, S. A., & Pienta, N. J. (2016). Eye movement patterns in solving science ordering problems. *Journal of Eye Movement Research*, 9(3).
- Thite, L., & Brown, R. (2015). The history of eye tracking: University of the Free State, South Africa.
- Tobii AB. (2018a). Do I need another biometric measure? Dostupné z <https://www.tobii.com/learn-and-support/learn/steps-in-an-eye-tracking-study/design/new-page/>
- Tobii AB (Producer). (2018b, 7. 11. 2018). Tobii Pro Glasses 2. [Fotografie] Dostupné z <https://www.tobii.com/product-listing/tobii-pro-glasses-2/>
- Tobii Technology. (2009). Guidelines for Using the Retrospective Think Aloud Protocol with Eye Tracking. Dostupné z https://stemedhub.org/resources/2181/download/RTA_guidelines_eyetracking_tobii_shortpaper.pdf
- Tomášek, V., & Potužníková, E. (2004). Netradiční úlohy: Problémové úlohy mezinárodního výzkumu PISA: Praha: ÚIV.
- Tsai, M.-J., Hou, H.-T., Lai, M.-L., Liu, W.-Y., & Yang, F.-Y. (2012). Visual attention for solving multiple-choice science problem: An eye-tracking analysis. *Computers & Education*, 58(1), 375-385.
- Vacínová, M., & Langová, M. (2005). *Kapitoly z psychologie učení a výchovy*: Vysoká škola Jana Amose Komenského.
- Vágnerová, M. (2017). *Obecná psychologie: dílčí aspekty lidské psychiky a jejich orgánový základ*: Charles University in Prague, Karolinum Press.
- Veselský, M., & Hrubíšková, H. (2009). Zájem žáků o učební předmět chemie. *Pedagogická orientace*, 19(3), 45-64.

- Vojíš, K. (2017). *Tvorba učebních úloh s problémovými prvky ze vzdělávacího oboru Chemie*. (Diplomová práce), Univerzita Karlova, Praha.
- Volfová, M. (1979). Problémové vyučování a dovednosti žáků řešit problémy. *Pedagogika*, 29(3), 175-288.
- Wedel, M., & Pieters, R. (2008). A review of eye-tracking research in marketing *Review of marketing research* (s. 123-147): Emerald Group Publishing Limited.
- Wirth, J., & Klieme, E. (2003). Computer-based assessment of problem solving competence. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 10(3), 329-345.
- Wright, R. B., & Converse, S. A. (1992). *Method bias and concurrent verbal protocol in software usability testing*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Yang, F.-Y., Tsai, M.-J., Chiou, G.-L., Lee, S. W.-Y., Chang, C.-C., & Chen, L.-L. (2018). Instructional Suggestions Supporting Science Learning in Digital Environments Based on a Review of Eye Tracking Studies. *Journal of Educational Technology & Society*, 21(2), 28-45.
- Zormanová, L. (2012). *Výukové metody v pedagogice*: Grada Publishing as.